



**Diseño de una política de aprovechamiento de retales a
través de la creación de una estrategia de aprovisionamiento
interno y evaluación del impacto en la dinámica de costeo.**

Mayra Rocío Tovar Sir

**Universidad del Norte
Departamento de Ingeniera Industrial
Barranquilla, Colombia
2017**

Diseño de una política de aprovechamiento de retales a través de la creación de una estrategia aprovisionamiento interno y evaluación del impacto en la dinámica de costeo.

Mayra Rocío Tovar Sir

**Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar
al título de:
Magister en Ingeniería industrial**

**Director:
Alcides Santander Mercado Ph.D.**

**Universidad del Norte
Departamento de Ingeniería Industrial
Barranquilla, Colombia
2017**

**Aprobado por el profesorado de la división de ingenieras en
cumplimiento de los requisitos exigidos para otorgar el título
en magister en ingeniería industrial**

Ing. Alcides R. Santander Mercado
Firma del director

Ing. Rene A. Amaya Mier
Corrector del proyecto

Ing. Miguel A. Rojas Santiago
Corrector del proyecto

Barraquilla, Mayo de 2017

TABLA DE CONTENIDO

1. CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	8
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.2. JUSTIFICACIÓN	11
1.2.1. TEÓRICA	11
1.2.2. PRACTICA	12
1.3. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
1.3.1. CADENAS COLABORATIVAS DE SUMINISTRO	14
1.3.2. COMPRA COLABORATIVA	19
1.3.3. PROBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN	19
1.3.4. PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA	21
1.4. OBJETIVOS	26
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	26
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
1.5. METODOLOGÍA.....	26
1.5.1. FASE 1 - LEVANTAMIENTO Y CONSOLIDACION DE PROYECTOS (CLUSTERS)	26
1.5.2. ASE 2 – MODELACIÓN DE OPTIMIZACIÓN:.....	27
1.5.3. FASE 3 – MODELO DE GESTIÓN DE COSTOS COLABORATIVO	27
2. CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	28
2.1. REVISIÓN DE LITERATURA (DEFINICIÓN Y ÁMBITO DE APLICACIÓN)	28
2.2. DESARROLLO DEL ESTADO DEL ARTE.....	34
3. CAPÍTULO III. LA ESTRATEGIA DE SOLUCIÓN PARA EL PROBLEMA DE APROVECHAMIENTO DEL RETAL A TRAVES DE LA CREACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE APROVISIONAMIENTO INTERNO.....	43
3.1. LEVANTAMIENTO Y CONSOLIDACIÓN DE PROYECTOS (CLUSTERS).....	43
3.1.1. SELECCIÓN DE CRITERIOS	43
3.2. MODELO DE OPTIMIZACIÓN	45
3.3. MODELO DE COSTEO.....	46
4. CAPITULO IV. CASO DE ESTUDIO	49
4.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	49
4.1.1. PROCEDIMIENTO DE OPTIMIZACIÓN ACTUAL.....	52
4.2. DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA	53
Fuente de elaboración: Propia.	54
4.2.1. PROCEDIMIENTO DE COSTEO COLABORATIVO	55

4.2.1.1. Casos excepcionales	58
4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	59
CONCLUSIONES	65
REFERENCIAS	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Beneficios de la cadena de suministro colaborativa.....	16
Tabla 2. Propiedades para la clasificación de problemas de optimización.	21
Tabla 3. Clasificación taxonómica.....	35
Tabla 4. Modelo de lista de requerimientos de materiales para corte.	50
Tabla 5. Resumen de optimizador.	52
Tabla 6. Costo de semana de producción.....	53
Tabla 7. Clusters de órdenes de producción por características.....	54
Tabla 8. Optimización de las coaliciones.	56
Tabla 9. Costos asignados según el valor de Shapley.	57
Tabla 10. Resultados Shapley para caso excepcional A.....	58
Tabla 11. Resultados Shapley para caso excepcional B.....	58
Tabla 12. Resultados Shapley para caso excepcional C.....	59
Tabla 13. Comparativo de resultados, compra tradicional Vs compra colaborativa.	60
Tabla 14. Muestra de 12 semana de producción.	63
Tabla 15. Datos para el cálculo de intervalos de confianza.....	64
Tabla 16. Intervalos de confianza para la muestra de datos de optimizaciones individuales y en colaboración.	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Costos asociados a ventanería.....	10
Figura 2. Modelo de cadena de suministro (Sector ventanería).	13
Figura 3. Beneficios de la cadena de suministro colaborativa.	17
Figura 4. Transición a un modelo más colaborativo.....	32
Figura 5. Clasificación de publicaciones con base en el tipo de Colaboración.....	40
Figura 6. Clasificación de publicaciones con base en el entorno de Aplicación – Sector.....	40
Figura 7. Elementos claves del problema.	41
Figura 8. Métodos de solución.	41
Figura 9. Uso del resultado.	42
Figura 10. Combinaciones de jugadores para las coaliciones.	56
Figura 11. Comparativo de valores totales entre escenario de compra tradicional Vs escenario de compra colaborativa.	62

CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La compra de materias primas es una de las decisiones estratégicas de cualquier empresa, pues las diferencias entre el lote de compra y lote de producción genera desperdicios significativos en los procesos productivos, por lo tanto surge la necesidad de desarrollar estrategias que permitan la disminución de los desperdicios en una línea de producción.

La compra colaborativa, por ejemplo, puede generar una ventana competitiva, ya que permite tener un mayor poder de negociación. (Claudio, Dumois et al., s.f) La compra colaborativa conecta el proceso de planificación con el dominio de planificación del proveedor. A mediano plazo, la compra colaborativa informa sobre las limitaciones de suministro de material al plan maestro y en el corto plazo informa de desajustes en el plan de compra consensuado que pueden afectar a los programas de producción (Ribas Vila and Companys Pascual, 2007).

Este es un problema de análisis de minimización del desperdicio donde se evalúa el impacto en la diferencia que hay entre el lote de compra y el lote de procesos, donde el objetivo final será dar un mejor aprovechamiento de retales, el cual corresponde al material sobrante que se genera del consumo de una materia prima discreta. Así mismo, se busca evaluar el efecto que esto tiene dentro de la dinámica de costeo.

El objetivo de esta investigación es diseñar una política de aprovechamiento de retales a través de la creación de una estrategia de aprovisionamiento interno entre proyectos de una misma empresa y evaluar su impacto en la dinámica de costeo. Como primer paso, se realiza una revisión del estado del arte con el fin de determinar las brechas de investigación existentes. Luego, se procederá con el desarrollo del modelo de optimización que va a exponer el comportamiento particular de las condiciones de colaboración establecidas. Seguidamente, se evaluará el impacto en la dinámica de costeo. Y por último, se desarrollará una validación con respecto a una situación real en una empresa del sector.

Este documento está organizado en IV capítulos; en el capítulo I se presenta la descripción general del problema, abarca el planteamiento del problema, justificación, marco de investigación y objetivos. En el capítulo II, se muestra la revisión y análisis de la literatura relacionada, donde se expresan las brechas de conocimiento existentes. El capítulo III presenta la estrategia de solución para el problema. El capítulo IV despliega el caso de

estudio. Por último, se presentan las conclusiones y las líneas de investigación para trabajos futuros.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mercado actual globalizado hace que los proveedores de materias primas no tengan el conocimiento exacto de cómo su material es aprovechado dentro de los procesos de producción para los cuales es adquirido, ya que el uso de la misma no necesariamente se da en las cantidades o lotes en los que es comprada, lo cual genera por supuesto una disparidad entre el lote de producción del proveedor y el lote de producción del cliente.

Esta diferencia hace que muchas veces las empresas manufactureras compren más material del que realmente necesitan para su proceso de fabricación, razón por la cual la compra de materias primas representa una estrategia competitiva. (Reck and Long 1988).

Si se crean modelos de compra colaborativas y políticas de costeo enfocadas en una estrategia de aprovisionamiento interno entre proyectos de la misma empresa y se evalúan tres factores que deciden la complejidad de la toma de decisiones de la compra: elemento, cantidad y proveedor (Gao and Tang 2003), se podrían minimizar el desperdicio que se generan por la diferencia entre los lotes de compra y los lotes de producción. Esto es aún más complejo cuando el tipo de producto que se compra no tiene características continuas.

Como un caso particular de estas industrias mencionadas anteriormente, tenemos la industria del aluminio, el cual es catalogado como un excelente metal debido a todas sus propiedades: liviano, maleable, adicionalmente, puede reciclarse en el cien por ciento y solo necesita el cinco por ciento de la energía para volver a ser el metal primario (Montoya, de Arias et al. 2010).

En Colombia, la competencia entre empresas del sector es muy alta, ya que el mercado de importaciones tiene una amplia participación en la oferta de estos productos (Herrera, G, 2012). Esta competencia, obliga a las empresas a idear estrategias para aumentar la productividad, lo cual a la larga, se ve reflejado en la minimización de los costos (Deming and Medina 1989), esto se busca para ofrecer mejores precios a sus compradores y de esta manera poder abarcar más mercado y por supuesto obtener mejores utilidades en la ejecución de sus proyectos.

En el país, los proyectos arquitectónicos que incluyen sistemas de ventanas manejan ciertos estándares de calidad, que no siempre permiten la consecución de materia prima nacional, lo

que hace necesario la importación de los mismos, a lo cual se suma la incertidumbre del precio del dólar, el riesgo en la variabilidad que se puede ofrecer al cliente es al alta.



Figura 1. Costos asociados a ventanería.
Fuente de Elaboración: Propia.

Teniendo en cuenta que el aluminio corresponde al 55% de los costos asociados a la fabricación de una ventana, la compra colaborativa de esta materia prima puede significar una disminución en el precio de venta. Esta estrategia se plantea para proyectos manejados por una misma empresa que comparten ciertas características que permitirán la agrupación de los mismos.

Adicionalmente, es importante aclarar que cualquier empresa manufacturera cuya materia prima este definida en unidades discretas, podrá evaluar el uso de una estrategia de aprovisionamiento interno para la compra de sus materias primas.

Ahora, normalmente en el sector las empresas no trabajan de manera colaborativa con las empresas productoras de algunos de los componentes como aluminio o vidrio, por lo tanto, dependiendo del tipo de alianza estratégica que se tenga, así mismo será el nivel de proporción en algunos costos.

Se ve como oportunidad de mejora para el sistema:

- a. Debido a que se tienen muchas órdenes de producción simultaneas que utilizan el mismo tipo de perfilaría en aluminio (acabado y referencias), la compra de materias

primas de estas órdenes pueden realizarse de manera colaborativa, siendo esta una colaboración interna entre proyectos de la misma empresa.

- b. La optimización del material se realiza de manera individual, así mismo el costeo, si se realiza un modelo de costeo que reconozca la colaboración inter en la división del material, se podría tener un mejor precio para el cliente.

Los métodos convencionales de compra manejados en el mercado consisten en la compra del aluminio por proyecto de manera individual, lo cual recarga los costos del mismo y no tiene en cuenta la generación de “retales” correspondientes a cortes de piezas en aluminio que son desechadas.

Teniendo en cuenta lo escrito anteriormente se plantean la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo mejorar el proceso de compra y el costeo mediante la compra colaborativa interna entre proyectos para aprovechar de mejor manera el uso de los retales generados del proceso de corte?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El siguiente capítulo presenta la justificación del proyecto, observada desde dos perspectivas: Teórica y práctica. La primera, tiene el propósito de reflexionar acerca de los modelos de costeos existentes en la industria manufacturera que compra materias primas con características discretas y la segunda propone estrategias para contribuir a la solución del problema.

1.2.1. TEÓRICA

La compra de materias primas es un factor importante en la generación de costos de una empresa manufacturera, a través de la compra colaborativa se puede generar un elemento diferenciador de la eficiencia en la toma de decisión de compra, el cual puede estar enfocado en las utilidades de la empresa o en mejores precios ofrecidos al cliente.

Las empresas que manejan materias primas con características discretas, realizan las compras de los insumos encaminados a una orden de producción, por lo tanto el costeo se realiza de la misma manera; si una empresa decidiera aplicar la compra colaborativa de material para varias órdenes de producción, no tendría un modelo de costeo definido para asignar los costos compartidos a cada uno de los proyectos.

1.2.2. PRACTICA

La cadena de suministro de una empresa de ventanería está compuesta por:

- **Proveedores:**

- *Aluminio:* comprende más del 50% del costo de la ventana, el proveedor de este material se encarga de la extrusión, temple y pintura del mismo.
- *Vidrio:* comprende casi el 30% del costo de la ventana, este proveedor se encarga de transformar el vidrio por medio de tratamientos térmicos, luego este es cortado teniendo en cuenta las medidas establecidas por el siguiente eslabón.

- **Fabricante-mayorista:**

Se encarga de realizar las compras a los proveedores según los proyectos de construcción que tenga dentro de su demanda y almacena el material teniendo en cuenta cronogramas de producción. Realiza las actividades que amerita la producción de una ventana. Un % de la producción llega al cliente final directamente por el fabricante y el % restante es manejado por el minorista.

- **Minorista:**

Este eslabón de la cadena se encarga de comercializar la ventanería e instalarla en la obra directamente.

Uno de los elementos claves para esta cadena de suministros es la compra de aluminio, generalmente las empresas del sector, compran esta materia prima para cada proyecto que maneja. A nivel contable no existe una estructura flexible para la evaluación de los costos, las ordenes manejadas por el fabricante-mayorista deben asumir los desperdicios de material dentro de los costos de materia primas establecidos. Si se plantea un modelo colaborativo

interno entre proyectos de la misma empresa en esta cadena de suministro a lo largo de todos sus eslabones se asumiría que el impacto ambiental es menor así como los costos asociados a la operación.

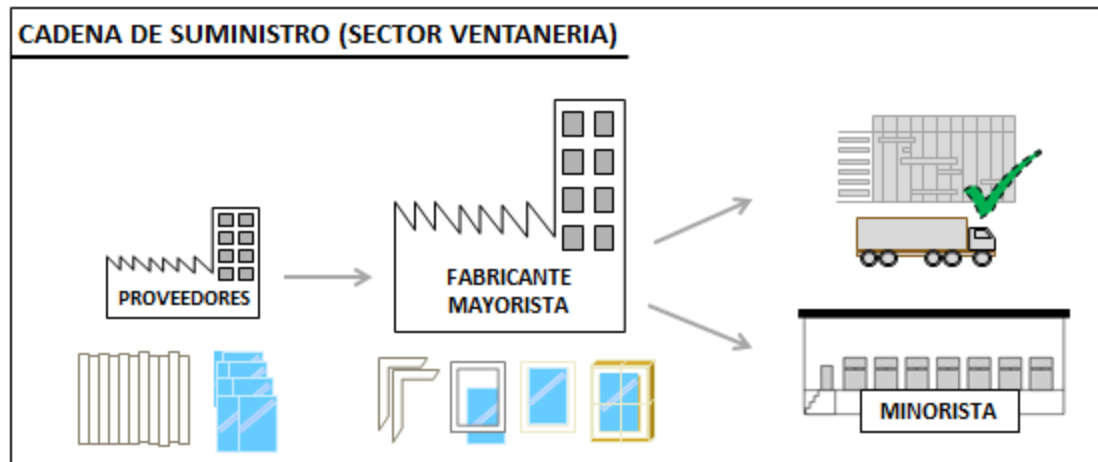


Figura 2. Modelo de cadena de suministro (Sector ventanería).

El hecho de poder dimensionar un problema de compra colaborativa de materia prima para proyectos administrados en una misma compañía, permitirá la minimización de costos totales y adicionalmente generar dentro de la estrategias de solución políticas de costeo para proyectos colaborativos.

En el marco de esta investigación, el enfoque estará dado hacia el problema de la compra de material, es decir en el eslabón fabricante-mayorista, con el objeto de probar la metodología y si esta ofrece buenos resultados, entonces podría extenderse a lo largo de toda la cadena con un modelo más robusto.

1.3. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo comprende el marco de referencia de la investigación, hace un recorrido por todos los tópicos de la investigación iniciando con las cadenas de suministro colaborativas, formas de colaboración y compra colaborativa, luego se revisan los problemas de optimización así como los métodos de solución.

1.3.1. CADENAS COLABORATIVAS DE SUMINISTRO

Una cadena de suministro colaborativa es una asociación basada en los riesgos y recompensa compartidas que se convierten en una ventana competitiva, lo que representa mayor rendimiento que el que se logra por las empresas de manera individual (Lambert, Emmelhainz et al. 1999).

La colaboración en las cadenas de suministro han adquirido tal valor en los procesos que, según Holweg, esta ha sido estudiada tanto por académicos como por empresarios para buscar el incremento en la gestión del manejo de inventarios por vendedor, la realización de pronósticos y actividades de planeación, así como en el reabastecimiento colaborativo y continuo (Holweg, Disney et al. 2005).

A nivel táctico y operativo, las cadenas de suministro colaborativa se consideran como una herramienta orientada hacia la gestión de actividades operacionales, tales como la atención al cliente, el control de inputs e outputs de materiales e información, la eliminación de ineficiencias en los canales y los costos, cuyo campo de actuación se extiende desde la adquisición de materias primas hasta la fabricación, distribución, consumo y el retorno final (Bautista-Santos, Martínez-Flores et al. 2015).

Existen tres tipos de estructuras de colaboración en las cadenas de suministro: en primer lugar, la colaboración vertical, que corresponde a organizaciones que comparten responsabilidades para servir a un mismo cliente; en segundo lugar, la colaboración horizontal, se da cuando empresas lejanas o en competencia comparten información o recursos privados y finalmente, la colaboración lateral, presenta mayor flexibilidad, debido a que combina las capacidades de las dos estructuras anteriormente mencionadas (Simatupang and Sridharan 2002).

Como complemento a lo expresado por Simatupang y Sridharan (2002), los autores Satir, Savaseneril y Serin (2012), argumentan que la colaboración vertical ha tenido mayor aceptación por las compañías, incluso su proceso de aplicación se remonta a los años 80's, mientras que la colaboración horizontal ha participado en el menor porcentaje de aplicación debido a la resistencia de las compañías para compartir información entre los demás eslabones (empresas) de la cadena, que al estar en el mismo mercado constituyen finalmente la competencia (Satir, Savaseneril et al. 2012).

Los autores Montoya y Ortiz (2011) exponen 5 tipos de colaboración en la cadena de suministros, dentro de los cuales incluyen la colaboración horizontal y vertical como un solo tópico, a continuación se referencian los 4 tópicos adicionales planteados por los autores (Montoya-Torres and Vargas 2011):

- Alianzas estratégicas: se definen como relaciones empresariales a largo plazo, donde los miembros de la sociedad comparten recursos, información y capacidades para con la finalidad de mejorar la posición competitiva individual.
- Empresas conjuntas: se definen que como relaciones empresariales, que en busca de nuevos mercados, optan por disponer en conjunto de bienes, servicios, capacidad financiera y estrategias de mercadeo.
- Acuerdos de cooperación: aquellos formados cuándo las empresas buscan una respuesta rápida a un entorno cambiante, desde un punto de vista competitivo y tecnológico, o para encontrar incrementar su capacidad de abastecimiento y estrategias de organización.
- Integración virtual: se refiere a colaboraciones temporales entre entes independientes unidas por TC.

La gestión de las cadenas de suministro colaborativa debe tener 4 aspectos principales para genera vínculos entre la planeación y el control del proceso de suministro y la competitividad de las empresas, estos aspectos son: integración, automatización, información y confianza (Braggins and Zare Mehrjerdi 2009).

La planificación aislada de las actividades en la cadena de suministros promueven los resultados ineficientes a cada empresa relacionada, ya sea incrementando los niveles de inventario, la insatisfacción de clientes, costos de producción, entre otros.

En contra parte la colaboración en la cadena de suministros busca eliminar las ineficiencias correspondientes a la acción aislada de las compañías en relación. Para establecer una idea clara acerca de los beneficios que se logran a través de la colaboración en la cadena de suministro se sintetizan los aportes de diferentes autores en la siguiente tabla:

Tabla 1. Beneficios de la cadena de suministro colaborativa.

AUTOR	APORTE
(Shen, Lai et al. 2011)	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de la satisfacción del cliente. - Incremento de las ganancias. - Reducción de costos.
(Fawcett, Waller et al. 2010)	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de la satisfacción del cliente. - Reducción de costos. - Eficiente administración de inventarios - Mejora los tiempos de aprovisionamiento. - Mayor flexibilidad en los procesos. - Eficiencia en la transmisión de tecnologías. - Impulsa la innovación.
(Zhang, Liu et al. 2012)	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora la eficiencia operativa. - Eficiente administración de inventarios.
(Le Blanc, Van Krieken et al. 2004)	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento en la eficiencia del uso de los recursos de transporte.
(Disney and Towill 2003)	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiente administración de inventarios. - Flexibilidad en el uso de la cadena de suministros. - Incrementa la eficiencia de la capacidad productiva.
(Holweg, Disney et al. 2005)	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiente administración de inventarios. - Eficiente uso de los recursos. - Disminución de la incertidumbre de la demanda.
(Chan and Prakash 2012)	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de costos (administrativos y transaccionales). - Disminución y control de riesgos en los suministros. - Mayor integración, permitiendo compartir de mejor manera los recursos, los conocimientos y el aprendizaje de procesos
(Cannella and Cincimino 2010)	<ul style="list-style-type: none"> - Mitigar/disminuir el Bullwhip Effect
(Yang and Wee 2006)	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de ganancias y disminución de pérdidas en actividades que involucran productos no duraderos o ciclo de vida corto.
(Malhotra, Gosain et al. 2005),	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora al proceso de manejo de información. - Facilita la creación del conocimiento.
(Bommer, O'Neil et al. 2001)	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de la flexibilidad operacional. - Incremento de las ganancias. - Reducción de costos.

1.3.1.1. FACTORES DE ÉXITO EN LA CADENA DE SUMINISTRO COLABORATIVA

Ferrell and Hartline (2012) en su libro estrategia de Marketing describen los factores clave para la colaboración exitosa en las cadenas de suministro, la figura 1 expone dichos factores y la manera cómo interactúan entre ellos (Ferrell and Hartline 2012).

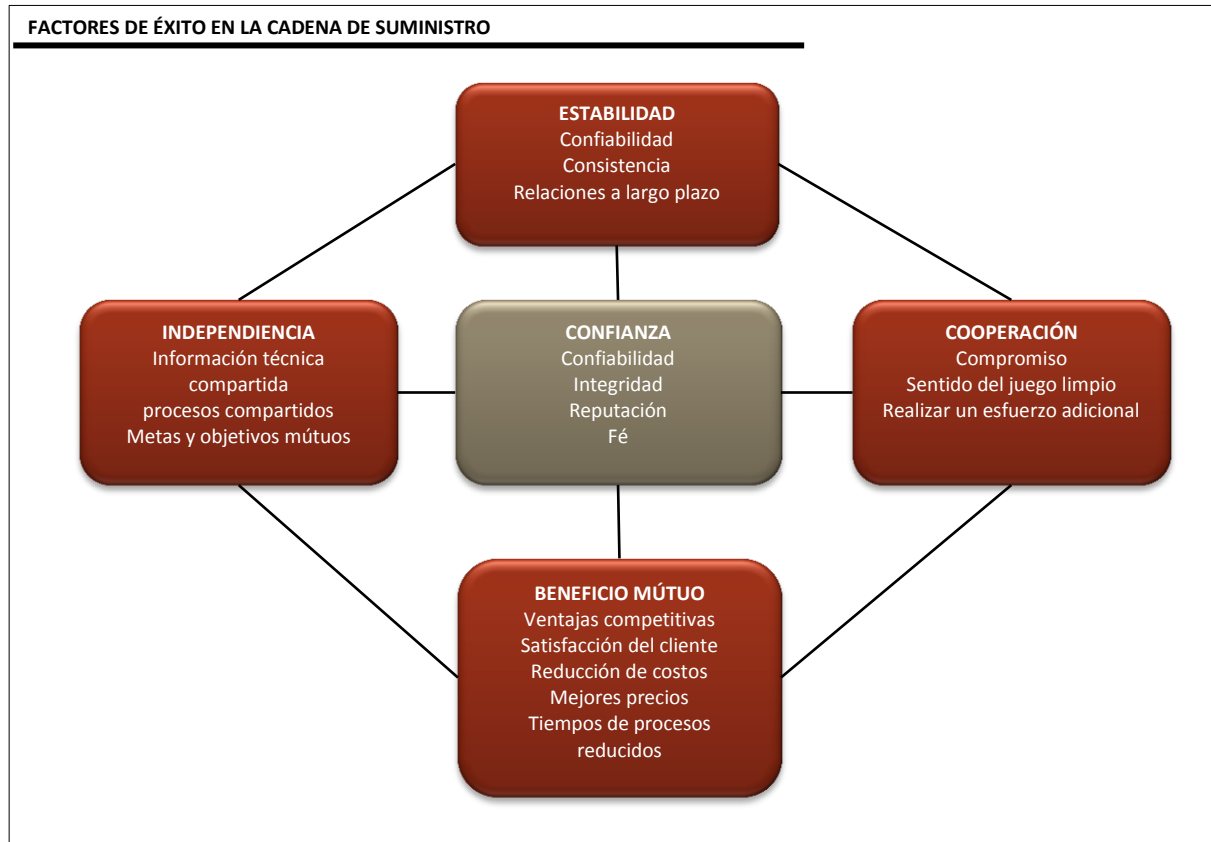


Figura 3. Beneficios de la cadena de suministro colaborativa.

La figura 3 destaca a la confianza como el factor principal para llevar a cabo la colaboración exitosa en la cadena de suministro, al ubicarse en el centro demuestra la importancia que tiene como elemento cohesivo para los demás factores de interés en la colaboración en la cadena. Además, por medio de la confianza las empresas serán capaces de hacer a un lado el egoísmo, serán capaces de ceder actividades de sus cadenas de suministro y podrán colocar las necesidades de la cadena por encima de las propias. La confianza entre las empresas colaboradoras permitirá el pleno desarrollo de sus interdependencias, con lo cual se logrará obtener un mayor beneficio colectivo a largo plazo.

Otro factor de mucha importancia es el compromiso de los altos directivos, puesto que son estos lo que servirán de ejemplo y guía para el personal a cargo sobre la cadena de suministros. Los objetivos y metas trazados y/o expresados con claridad son otro factor importante, influyente para poder generar sinergia dentro de las actividades de la cadena. La compartición de información completa también se considera como factor primordial, para lo cual se requiere una mayor y comunicación. Por ultimo las empresas en colaboración deben estar dispuestas a compartir el resultado económico obtenido mediante el ahorro de costos en la cadena colaborativa.

1.3.1.2. FORMAS DE COLABORACIÓN

Existen diferentes tipos de negocios en los que la disponibilidad de recursos debe estar debidamente sincronizada para llevar a cabo una correcta prestación de servicios. Para lograr esta sincronización los socios de la cadena de suministros deben evaluar de manera colaborativa los siguientes aspectos: demanda, niveles de inventario, capacidad y compras colaborativas (Ribas Vila and Companys Pascual 2007, Ribas Vila and Companys Pascual 2007). Los autores exponen de manera detallada cada una de las formas de colaboración de la siguiente manera:

- **Estimación colaborativa de la demanda:**

La estimación colaborativa de la demanda permite la realización de una previsión consensuada entre las diferentes partes de interés dentro de la compañía o entre las diferentes compañías relacionadas en la cadena de suministro, esto con la finalidad de unificar y conectar entre si el proceso de previsión de los diferentes dominios de planificación (Smáros 2007).

- **Inventarios colaborativos:**

Esto introduce el concepto de VMI (Vendor Managed Inventory, por sus siglas en ingles), este aspecto explica como el proveedor es el encargado de realizar las revisiones y/o seguimientos a los inventarios de sus clientes; con lo cual este planifica las necesidades de material para el cliente mediante la revisión de sus proyecciones de venta y niveles de inventario deseados Sanders (Sanders 2007). Desde el punto de vista del cliente, este ha delegado la función de compra al proveedor, facilitándole toda la información necesaria para que realice este proceso mediante utilizando su propio plan de entrega de materiales sincronizado a las necesidades del cliente (Zice, Zhengping et al. 2001).

- **Capacidad colaborativa:**

La capacidad colaborativa permite consensuar el plan de capacidad disponible o a contratar con sus clientes. Básicamente si un productor requiere subcontratar parte de la capacidad de otro productor de la cadena, este deberá contar con la información necesaria acerca de las capacidades con las que podrá contar, así mismo el proveedor del servicio de subcontratación también requerida de la información relacionada al plan de producción para poder asegurar la capacidad requerida. En este tipo de casos las partes interesadas logran concluir acuerdos mediante la estipulación de máximos y mínimos de capacidad (Pesämaa, Eriksson et al. 2009).

1.3.2. COMPRA COLABORATIVA

La compra ha asumido cada vez más un papel estratégico fundamental en la gestión de la cadena de suministros, ya que puede generar una ventaja competitiva sostenible permitiendo que las empresas puedan fomentar una relación estrecha con sus proveedores, comunicación abierta entre los socios de la cadena de suministros y el desarrollo de la relación estratégica a lo largo plazo para lograr beneficio mutuos (Chen, Paulraj et al. 2004).

La compra colaborativa conecta el proceso de planificación con el dominio de planificación del proveedor. A medio plazo, la compra colaborativa informa sobre las limitaciones de suministro de material al plan maestro y en el corto plazo informa de desajustes en el plan de compra consensuado que pueden afectar a los programas de producción (Ribas Vila and Companys Pascual 2007, Ribas Vila and Companys Pascual 2007).

Los acuerdos colaborativos para la compra de suministro son una opción para disminuir costos y aumentar el acceso a una cartera mayor de suplidores. Estos acuerdos toman mayor relevancia en el caso de pequeñas y medianas empresas que sin individualmente por su volumen de compra se encontrarían en una desventaja en la mesa de negociación con sus suplidores (Claudio, Dumois et al.).

1.3.3. PROBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN

La optimización es una disciplina fundamental en campos de la ciencia tales como la Informática, la IA o la investigación operativa, y la conciben como el proceso que intenta

encontrar la mejor solución posible a un problema de optimización, en lo posible en un tiempo limitado. En otras sociedades científicas, el concepto de optimización se convierte a una idea relacionada al *hacer algo mejor* (Muñoz 2007).

El autor, básicamente simplifica el concepto como un problema con consta de variadas soluciones posibles y que además es permisible el comparativo entre estas, en este orden de ideas el problema de optimización existirá si y solo si se dispone de un conjunto de soluciones diferentes para ser comparadas.

Los problemas de optimización están compuestos por una serie de datos y condiciones los cuales puede describirse numéricamente a través de ecuaciones. En este tipo de problemas existe una función objetivo para la cual se deben hallar los valores máximos o mínimos, lo cuales están sujetos a restricciones. Si la función objetivo y todas las restricciones son lineales, tendremos un problema de optimización lineal; si por el contrario, la función objetivo o algunas de las restricciones son no lineales, entonces tenemos un problema de optimización no lineal.

En su tesis doctoral Lence (2007), plantea el concepto de modelos de optimización de manera generalizada, exponiendo a estos como el conjunto de variables independientes, que se encuentran asociadas a una serie de restricciones que definirán los valores aceptables para cada variable ya mencionada, estos modelos también constan de una función para variables, a la cual llama función objetivo; por medio de estos problemas se busca encontrar un valor o resultado óptimo, mediante un proceso formar de optimización o maximización de la función objetivo (Pardines Lence 2007).

1.3.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN

Estos suelen clasificarse teniendo en cuenta los compromisos entre las mejoras en la eficiencia obtenida al considerar ciertas propiedades de los problemas frente a la complejidad de tener que elegir un método de resolución dentro de una gran librería de métodos. La manera más evidente de clasificar los problemas se basan en basándose en las propiedades matemáticas de la función objetivo y de las restricciones asociadas. La tabla 2 presenta una caracterización de problemas de optimización teniendo en cuenta las propiedades específicas planteadas por los autores.

Tabla 2. Propiedades para la clasificación de problemas de optimización.

PROPIEDADES DE $F(x)$	PROPIEDADES DE $\{(Cx)\}$
Función de variable única	Sin restricciones
Función lineal	Fronteras simples
Suma de cuadrados de funciones lineales	Funciones lineales
Función cuadrática	Funciones lineales dispersas
Suma de cuadrados de funciones no lineales	Funciones no lineales suaves
Función no lineal suave	Funciones no lineales dispersas
Función no lineal dispersa	Funciones no lineales no suaves
Función no lineal no suave	

1.3.4. PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA

Corresponden a los problemas en los cuales las variables solo pueden tomar valores enteros, los problemas de programación lineal son NP-hard, estos se clasifican de la siguiente manera:

- **Problemas enteros puros:** corresponde a los problemas e los que todas las variables son enteras.
- **Problemas enteros mixtos:** en los cuales existen variables continuas y variables que solo pueden tomar valores enteros.
- **Problemas binarios:** en los cuales las variables solo pueden tomar los valores de cero y uno.

1.3.5. MÉTODOS DE SOLUCIÓN

Puede parecer que los problemas de optimización lineales enteros, sean más fáciles de resolver que los continuos, sin embargo, el gran número de variables factibles a analizar puede resultar lo suficientemente grande para su comparación.

1.3.5.1. MÉTODOS EXACTOS

Se definen como algoritmos que evalúan las soluciones posibles partiendo de un conjunto finito de posibles soluciones, con la finalidad de encontrar aquella de brinde satisfacción a un criterio específico del problema. Estos permiten una solución óptima global al problema, sin

embargo el costo de la exactitud está estrechamente relacionado a tiempos lentos de convergencia (De Armas, 2011). Entre ellos se tiene:

- Ramificación y acotación.
 - Hiperplanos de corte.
 - Ramificación y corte.
-
- *Ramificación y acotación (Branch and bound)*: El método Branch and bound es una técnica común para encontrar soluciones óptimas de los diversos problemas de optimización lineal mixta (Zhang, Qin et al. 2012), consisten en la modificación del espacio de soluciones de tal manera que al final se identifica el entero óptimo. (Taha 2004). Adicionalmente, el Branch and Bound realiza la búsqueda de manera organizada y sistemática, creando niveles en los puntos del tiempo donde se liberan recursos, en cada uno de los cuales se genera el conjunto de actividades elegibles, es decir, aquellas actividades no programadas cuyas predecesoras ya terminaron su ejecución (Morillo, Moreno et al. 2014).
 - *Hiperplanos de corte (Cutting planes)*: Este método consiste en derivar iterativamente restricciones adicionales hasta que el problema se reduce a un programa lineal general para el que se conoce un algoritmo polinómico. En términos de soluciones factibles, esto equivale a aislar el casco entero del conjunto solución de las desigualdades que se definen (Dantchev and Martin 2009).
 - *Ramificación y corte (Branch and cut)*: El procedimiento empleado, de forma general, consiste en ir añadiendo cortes a medida que avanzamos en el árbol decisional. Estos cortes son específicos y no se asegura su convergencia a una solución óptima (García Travieso 2014).

Este método continua la búsqueda incluso tras haber encontrado un camino a una solución. Al encontrar un nuevo camino para la solución, actualiza la mejor solución actual, de esta manera, es posible descartar soluciones parciales inferiores, es decir, caminos hacia soluciones parciales cuya extensión se garantiza que es peor que el actual mejor camino a la solución. Al finalizar el proceso la solución final será la solución óptima global al problema.

1.3.5.2. MÉTODOS APROXIMADOS

- *Métodos heurísticos:* En general, los métodos heurísticos, son aquellos donde se aplica este principio a un procedimiento de solución de un problema de optimización, del cual se espera encontrar soluciones de alta calidad en un tiempo de cómputo razonable, aunque muchas veces no se puede estimar que tan cerca se encuentre de la solución óptima. morillo (Morillo, Moreno et al. 2014). Los métodos heurísticos se podrían clasificar en Algoritmos constructivos, heurísticos voraces, heurísticos de mejora y heurísticos multi-arranque. (García Travieso 2014).

Muñoz, Hernández and Carrillo (2007) complementan este marco conceptual añadiendo que cuando existen casos donde el problema de interés no puede ser conocido como un algoritmo exacto con complejidad polinómica para encontrar una solución óptima al problema, y la cardinalidad del espacio de búsqueda es enorme, con lo cual el uso de algoritmos exactos no se considera viable debido a la inaceptable capacidad de tiempo con el que se cuenta, entonces debe considerarse un planteamiento bajo un modelo heurístico.

Por otra parte los autores plantean que los métodos heurísticos cuentan con limitantes, y que la principal de estas se encuentra en su incapacidad para escapar de los resultados óptimos locales. Lo anterior es debido, principalmente, debido a que este tipo de algoritmos no hacen uso de ningún mecanismo que les permita continuar la búsqueda del óptimo cuando ya se han quedado atascados en una solución óptima local. Por tal motivo, y para solventar este problema, se debe introducir a los problemas un tipo de algoritmia de búsqueda más inteligente, tal como los conocidos como métodos meta-heurísticos, los cuales evitan en lo posible la limitante descrita en los métodos heurísticos.

De Armas (2011) plantea algunas razones para elegir el uso de métodos heurísticos para la solución de problemas de optimización:

- Cuando la naturaleza del problema no permite conocer ningún método exacto para su resolución.
- Cuando existiendo un método exacto para la resolución del problema, su uso computación resulta muy costoso.

- El método heurístico proporciona mayor flexibilidad para la modelación del problema.
 - Se utiliza como parte de un procedimiento global que garantiza el óptimo de un problema.
- *Métodos metaheurísticos:* Los algoritmos metaheurísticos poseen como características fundamentales ser ingeniosos y sencillos pero muy eficientes. Su clave es que incorporan una búsqueda local o fase de explotación, con todas sus bondades, pero cuentan con estrategias que les permiten escapar de los óptimos locales para, de esta manera, darle a la búsqueda mayor poder de exploración. (Martí 2003). Dentro de los algoritmos metaheurísticos tenemos los algoritmos genéticos, búsqueda tabú, recorrido simulado, colonia de hormigas, etc.

Estos métodos se sitúan por encima de las heurísticas al guiar el diseño de estas. Estos agrupan un conjunto de conceptos utilizados para definir métodos heurísticos aplicados a la resolución de problemas con mayor complejidad. Por tales motivos son considerados heurísticas de mayor nivel, los cuales no sirven para resolver casos específicos, sino que pueden ser aplicados a problemas generales, instanciando o definiendo el tipo de problema a utilizar (De Armas, 2011).

A continuación se presentan los tipos fundamentales de metaheurísticas planteados por De Armas (2011):

- Metaheurísticas de relajación: hace referencia a procedimientos de resolución de problemas que utilizan modificaciones del modelo original con la finalidad de hacerlo más sencillo de resolver.
- Metaheurísticas constructivas: orientadas a procedimientos que buscan una solución a partir de análisis y selección paulatina de las componentes que la forman.
- Metaheurísticas de búsqueda: enfocadas a guiar los procedimientos que usan transformaciones o movimientos para recorrer el espacio de soluciones alternativas y explotar las estructuras de entorno asociadas.

- Metaheurísticas evolutivas: dirigidas al diseño de procedimientos basados en un conjunto de soluciones que evolucionan sobre el espacio de soluciones.

A continuación De armas (2011) conceptualiza alguno de los ejemplos de metaheurísticas planteados por Marti (2003), a la vez que hace mención de otros:

- *Búsqueda local (Local Search, LS)*: también conocida como mejora iterativa. En este los movimientos o iteraciones se realizan solo si es posible mejorar la solución obtenido.
- *Recocido simulado (Simulated Annealing, SA)*: considerada como una de las metaheurísticas más antiguas que introduce estrategias explícitas que impiden a los óptimos locales. Se basa en la física del calentamiento de metales, proponiendo una similitud entre unas buenas estructuras cristalinas y una buena estructuras de soluciones para los problemas de optimización combinatoria. Se trata básicamente de miniar la función objetivo la cual simula la energía del sistema.
- *Búsqueda Tabú (Tabu Search, TS)*: mediante el uso de búsquedas locales con memoria a corto plazo le permite “evadir” o “escapar” de los mínimos locales y evitar ciclos. La memoria a corto plazo mencionada se representa por una lista tabú, la cual registra ultimas soluciones “visitadas” e imposibilita regresar a ella en los subsiguientes movimientos. Esta lista se actualiza de manera común de la forma FIFO (First In First Out).
- *GRASP (Greedy Randommized Adaptive Search Procedure)*: esta metaheurísticas combina los procedimientos constructivos y búsquedas locales. Funciona mediante dos fases iterativas: una de construcción de la solución (Heurística), y otra de mejora. La construcción se caracteriza por ser dinámica y aleatoria.
- *Computación evolutiva (Evolutionary Computation, EC)*: considera una amplia gama de técnicas heurísticas que funcionan simulando mecanismos evolutivos naturales.

1.4. OBJETIVOS

A continuación se presentan los objetivos de la investigación, el objetivo general muestra la aspiración del estudio y los objetivos específicos presentan los logros parciales que facilitaran el control sistemático del mismo.

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar una política de aprovechamiento de retales a través de la creación de una estrategia de aprovisionamiento interno y evaluación de su impacto en la dinámica de costeo.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Diseñar una metodología para la consolidación de la demanda de proyectos.
- b. Definir las condiciones de colaboración con las cuales se formarán los grupos de proyectos.
- c. Modelar la optimización de requerimientos de material, mediante un modelo genérico.
- d. Crear un modelo de gestión de costos colaborativo para los retales.
- e. Evaluar el impacto en la dinámica de costeo.

1.5. METODOLOGÍA

La investigación usó una metodología propuesta de 4 fases, las cuales estructuraron sistemáticamente el estudio:

1.5.1. FASE 1 - LEVANTAMIENTO Y CONSOLIDACION DE PROYECTOS (CLUSTERS)

Durante esta etapa se establece un horizonte de planeación en el cual se consideran los proyectos que se van a programar durante un periodo determinado de tiempo. Con base en esto, se realiza la caracterización de los mismos, teniendo en cuenta sus atributos con el fin de garantizar la compatibilidad de los grupos definidos y se establece la metodología de consolidación de la demanda.

1.5.2. ASE 2 – MODELACIÓN DE OPTIMIZACIÓN:

Se realiza una modelación en forma general para el problema de asignación y se trabaja con un optimizador determinado. Durante la segunda etapa de la investigación se procedió con la ejecución de dos procedimientos para optimización para requerimientos de material:

- El primer procedimiento para optimización busca definir la cantidad de material a comprar con el fin de suplir la demanda de material para cada proyecto de manera independiente.
- El segundo procedimiento para optimización tiene como objetivo definir la cantidad de material a comprar colaborativamente con el fin de suplir la demanda de material para los diferentes clusters de proyectos definidos en la fase 1.

1.5.3. FASE 3 – MODELO DE GESTIÓN DE COSTOS COLABORATIVO

Durante esta fase se definen las políticas de costeo que regirán al modelo de compra colaborativa haciendo uso al máximo de los retales. Las políticas de costeo discriminan de manera precisa la forma en la que deben ser repartidos los costos del material a cada uno de los proyectos, ya que con el modelo colaborativo los diferentes proyectos compartirán longitudes de una misma pieza.

2. CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

En este capítulo se presenta la revisión literaria puntualizada en la colaboración en la cadena de suministro. Esta exploración se encuentra detallada de la siguiente manera: como primer paso, se presenta la definición y ámbitos de aplicación de la compra colaborativa, seguidamente muestra la metodología escogida para la construcción del estado del arte. Finalmente, se presenta un análisis de la literatura y las brechas de investigación existente.

2.1. REVISIÓN DE LITERATURA (DEFINICIÓN Y ÁMBITO DE APLICACIÓN)

La cadena de suministro tradicional y los sistemas de gestión empresarial tienen muchas deficiencias porque los proveedores no tienen una visibilidad global de los pedidos de los clientes y la demanda del mercado (Gnimpieba, Nait-Sidi-Moh et al. 2015). La evolución de los sectores productivos y su competitividad, indica que la competencia existe entre las cadenas de suministros, por lo tanto, la aplicación de técnicas de gestión de colaboración deben ser una opción analizada por toda cadena de suministro (Vieira and Júnior 2005). Para Zhili & Wenjun (2009), la colaboración entre los elementos de la cadena de suministros es la clave para mejorar la competitividad. (Zhili and Wenjun 2009)

La colaboración en la cadena de suministro es la participación activa de todos los socios de la cadena de suministro en la consecución colectiva de un objetivo común. (Liao and Kuo 2014); Para Badea, Prostean et al. (2014) la colaboración en la cadena de suministro podría definirse como la cooperación entre los socios que comparten la mayor información para evitar interrupciones en los flujos logísticos (Badea, Prostean et al. 2014).

Para Doukidis, Matopoulo et al. (20017) la colaboración consiste en que las organizaciones y las empresas trabajan juntas y pueden ser vistas como un concepto que va más allá de las relaciones comerciales normales (Doukidis, Matopoulos et al. 2007), cuyo objetivo subyacente es la entrega de beneficios y ventajas sustanciales a los socios de la cadena de suministro involucrados (Chakraborty, Bhattacharya et al. 2014). Wiengarten, Humphreys et al. consideran que la colaboración en la cadena de suministro se define en muchas formas diferentes, como la integración, la coordinación o simplemente el intercambio de información. (Wiengarten, Humphreys et al. 2010). Así mismo, esta ofrece mayores beneficios de satisfacer de manera efectiva las necesidades de los clientes finales que trabajar aisladamente (Simatupang, Wright et al. 2004).

Dentro de los beneficios que genera la colaboración de la cadena de suministro esta:

- Reducción de la incertidumbre, desarrollo competencias básicas, oportunidades de aprendizaje y creación de conocimiento y mejora de la posición competitiva (Cao, Vonderembse et al. 2010).
- Se dispone de mayores fondos de inversión y recursos para permitir a las empresas reducir los riesgos (Che and Chiang 2012).
- Compensa las limitaciones de cada actor de la red (Alfnes, Dreyer et al. 2012) y permite que se conviertan en oportunidades de mejora.
- Permite desarrollar sinergias entre los socios y fomenta la planificación conjunta y el intercambio de información en tiempo real (Whipple and Russell 2007).
- El aumento de la eficacia mediante el aprendizaje entre sí y un mejor uso de los recursos (Bakker, Walker et al. 2008).

Sin embargo, Para Inaam, Abderrahman et al (2016) el efecto de la colaboración de la cadena de suministro sobre el rendimiento es incierto (Inaam, Abderrahman et al. 2016), Ramanathan define dos barreras de la colaboración de la cadena de suministro y las ampliamente en dos categorías: organizativa y operativa (Ramanathan 2014). Mientras Hansen and Nohria (2004) replican que para superar esas barreras, las empresas tendrán que desarrollar distintas capacidades de organización que no pueden ser fácilmente imitadas (Hansen and Nohria 2004).

La integración de la cadena de suministro y la colaboración se utilizan a menudo para describir de forma intercambiable los esfuerzos de integración entre los socios de la cadena de suministro para mejorar la eficacia general y la eficiencia de la cadena de suministro (Sungbae and Taesoo 2016). Así mismo, las cadenas de suministro colaborativas establecen un concepto dinámico de competencia, donde las empresas deben ser constantemente su competencia (Han and Shi 2010), esto permite satisfacer las necesidades de los cliente.

El enfoque colaborativo se puede instalar a través de una amplia gama de conceptos, ya que las empresas puede entrar en colaboraciones para muchos tipos de negocios y por consiguiente muchos tipos diferentes de información pueden necesitar ser intercambiados o compartidos (Lin and Harding 2007), para Boute, Disney et al. (2008), tenemos la planificación

y reposición colaborativa de pronósticos, el intercambio de información, el inventario gestionado por el proveedor (Boute, Disney et al. 2008), Wenzhe and Qinghua (2010) opinan que, una empresa puede realizar una gestión de órdenes colaborativas, de almacenes colaborativos o de ventas colaborativas (Wenzhe and Qinghua 2010). Angerhofer and Angelides (2006) analizan la colaboración a nivel estratégico, refiriéndose las decisiones que influyen en la dirección futura de la cadena de suministro colaborativa (Angerhofer and Angelides 2006), conservando la misma línea Low and hsueh (2013) exponen que la colaboración en el nivel estratégico del inventario involucra decisiones que afectan la dirección futura de la cadena de suministro colaborativa, por ejemplo, inversión de capital y ajuste de la red de la cadena de suministro (Low and hsueh Chen 2013).

El proceso de colaboración implica una buena asociación entre los socios de la cadena de suministro a través del intercambio de información, recursos y asignación de roles específicos para permitir la gestión de riesgo mutuo (Giannakis and Louis 2011), sigue siendo un desafío todavía la colaboración fluida entre todos los socios (Grudinschi, Sintonen et al. 2014). El desarrollo de la confianza entre las permite el efecto beneficioso la eficacia operativa y la calidad del producto (Cai, Goh et al. 2013). De la misma manera, la colaboración requiere una gestión de la información y las operaciones, que supere los límites de la organización (Barnes and Liao 2012) .

Bolarín, Caro et al. (2010) dicen que la colaboración deben empezar desde la planificación, los integrantes de la cadena deben realizar un intercambio de información, discutiendo para planificar mejor el servicio (Bolarín, Caro et al. 2010).

La colaboración se basa en un objetivo mutuo y es un proceso en el que las organizaciones participarán sólo si contribuyen a su propia supervivencia (Badea, Prostean et al. 2014). Es importante y necesaria la descripción en términos estructurales de los tipos de colaboración:

- *Colaboración vertical:* se describe como la relación entre el comprador y el proveedor. Esto ocurre cuando dos o más organizaciones como el fabricante, el distribuidor, el transportista y el minorista comparten sus responsabilidades, recursos e información de rendimiento para servir a clientes finales similares (Karuranga, D'Amours et al. 2008) .
- *Colaboración horizontal:* es una de las estrategias que se utiliza cuando dos o más organizaciones no relacionadas o competidoras cooperan para compartir su información o recursos privados (Prakash and Deshmukh 2010) o la capacidad de

involucrar simultáneamente a las partes interesadas clave en el proceso y examinar su efecto sobre el desempeño (Mishra and Shah 2009). Generalmente, la colaboración horizontal se ha realizado en el contexto de inversión y desarrollo (Cabral 2000), sin embargo, Keskinocak and Savasaneril (2008), mencionan la formación de grupos en colaboración horizontal para la organización de las compras, teniendo en cuenta que esto representa descuentos proporcionados por proveedores (Keskinocak and Savasaneril 2008).

El objetivo de una cadena de suministro colaborativa es obtener ventaja competitiva, mejorando el rendimiento general mediante una perspectiva holística de la cadena de suministro, buscando el beneficio de cada uno de los usuarios (Angerhofer and Angelides 2006).

En el desarrollo de una colaboración sobre la cadena de suministro, las organizaciones necesitan para preparar una estrategia que debe tener en cuenta: demandas del cliente, especificaciones de los productos, tiempo para la entrega e incluso las ubicaciones geográficas de las compañías. Esto con el fin de eliminar el desperdicio en términos de costos, tiempo y recursos. (Udin and Khan 2002).

Según Inaam, las dimensiones de las cadenas de suministro colaborativa son la comunicación colaborativa, intercambio de información, congruencia de objetivos, compartir recursos y sincronización de decisiones (Inaam, Abderrahman et al. 2016).

En el proceso de implementación de la cadena de suministro colaborativa, se deben revisar las estrategias existentes en la organización y hacer las modificaciones apropiadas (Udin and Khan 2002), debe ser adecuadamente analizada, ya que además de las elevadas inversiones necesarias, debe haber un cambio de comportamiento de las empresas y empleados involucrados (Vieira and Júnior 2005).

Para manejar esta tensión, tanto para la colaboración como para la transición a la colaboración, las empresas necesitan tres categorías de elementos en su lugar (Spekman and Carraway 2006):



Figura 4. Transición a un modelo más colaborativo.
Fuente: Spekman and caraway (2006)

La investigación realizada por Badea, Prosteau et al. (2014) propone 5 puntos que se deben tener en cuenta para una buena colaboración badea (Badea, Prosteau et al. 2014):

1. *Colaboración para el intercambio de información:* la mayoría de las colaboraciones en los últimos días han compartido información como el elemento central (Ramanathan and Gunasekaran 2014). A medida que la tecnología de la información evoluciona, los socios tecnológicamente capacitados pueden adaptarse para iniciar nuevas formas de hacer negocios (Kwon, Im et al. 2011).
2. *Colaboración en la alineación de incentivos:* también queremos saber si todas las empresas tienen un incentivo para colaborar, o por el contrario, si las empresas que quieren que toda la cadena de suministro colaboren tienen que pagar a las otras compañías para incentivar la colaboración (Moyaux, Chaib-Draa et al. 2004).
3. *Colaboración en la sincronización de decisiones:* Los socios de la cadena de suministro coordinan las actividades de planificación y operaciones para optimizar los beneficios de la cadena de suministro.
4. *Colaboración en el intercambio de recursos y habilidades:* Vachon and Klassen (2008) proponen actividades como desarrollo de proveedores, inversión en tecnologías de la información y equipos de desarrollo de productos (Vachon and Klassen 2008). Sin

embargo, las relaciones de colaboración implican mayor compromiso de recursos (Whipple, Lynch et al. 2010).

5. *Colaboración en la gestión del conocimiento*: Desde la perspectiva de la gestión del conocimiento en las organizaciones de la cadena de suministro colaborativa desarrollar la competencia a través de diferentes programas para proporcionar retroalimentación positiva mutua.

Una cadena de suministro altamente colaborativa involucra esfuerzos de colaboración de departamentos funcionales, proveedores, clientes, así como logística de salida y entrada para conectar y coordinar el flujo de suministro (Thomson and Perry 2006).

La colaboración generalmente comienza con un escenario sin complicaciones debido a la baja confianza mutua entre los socios comerciales (Hernández, Poler Escoto et al. 2008), por lo que, no alcanzan sus objetivos originales, y muchos fracasan. Bernard (Simonin 1997). Los socios deben estar dispuestos a trabajar juntos, pero eso no es suficiente para asegurar la integración. También puede ser necesario invertir en la relación y / o compartir los recursos. (Stank, Keller et al. 2001) . En adición a lo anterior, Wee, Thoo et al. (2016), argumenta que una cadena de suministro altamente colaborativa involucra esfuerzos de departamentos funcionales, proveedores, clientes, así como logística de salida y entrada para conectar y coordinar el flujo de suministro a los clientes finales (Wee, Thoo et al. 2016).

Dentro de los campos de aplicación de la colaboración:

- Hernandez, alemany et al. (2009) proponen un modelo de gestión de inventarios colaborativo, el cual permite generar planes y dar respuestas efectivas a requerimientos solicitados solicitados para facilitar el trámite de trámite de acuerdo a los procesos de negociación correspondientes. (Hernández, Alemany et al. 2009).
- Pesämaa, Eriksson et al (2009) proponen un modelo alternativo de adquisición, basado en procedimientos de contratación cooperativa (Pesämaa, Eriksson et al. 2009).
- Ramanathan (2011) y Småros (2007), presentaron los resultados de investigaciones basadas en modelos sobre la predicción colaborativa (Småros 2007)

- Rathore and Ilavarsan (2008) enfocaron sus esfuerzo en las empresas pequeñas y medianas, donde muestran que la colaboracion es optima en terminos de recursos administrativos y financieros para este tipo de empresas (Rathore and Ilavarasan 2014).

La colaboración es clave para el éxito de una cadena de suministro y de todos sus miembros. El valor de la colaboración se puede cuantificar con la simulación de procesos empresariales, y los resultados de la simulación muestran que en un entorno de colaboración, el rendimiento de la cadena de suministro se puede mejorar significativamente (Wang, Dong et al. 2009).

2.2. DESARROLLO DEL ESTADO DEL ARTE

Esta revisión de literatura comprendió una rigurosa búsqueda de artículos escritos en su mayoría en el idioma inglés, a través de las bases de datos en línea: Taylor and Francis, esmeralda, Science Direct, IEEE Xplore, Jstor, Scopus y Springer Link. La búsqueda bibliográfica se realizó utilizando las palabras clave “Compra colaborativa”, “collaborative procurement”, “Cadena de suministro colaborativa”, “Collaborative supply chain”.

Algunos artículos poseían en su revisión literaria clasificaciones taxonómicas, como lo son los trabajos de (Braggins and Zare Mehrjerdi 2009), (Cerchione and Esposito 2016), (Taieb and Affes 2013) y (Ribas Vila and Companys Pascual 2007); Estos artículos sirvieron de guía para completar el estado del arte, ya que en el presente trabajo fue definida una clasificación taxonómica para la organización de la literatura de los problemas asociados a la compra colaborativa.

Se hizo una revisión de 170 artículos, de los cuales se encontraron 100 que presentaban un contenido más relevante para a investigación, estos fueron obtenidos de las fuentes anteriormente mencionadas, considerando los trabajos hasta el primer semestre de año 2016.

Dentro de la clasificación utilizada en forma taxonómica, se establece:

- Tipo de colaboraron
- Entorno de aplicación
- Elementos claves del problema
- Método de solución
- Uso del resultado

Tabla 3. Clasificación taxonómica.

AUTOR	TIPO DE COL.		ENTORNO DE APLICACIÓN: SECTOR							ELEMENTOS CLAVES DEL PROBLEMA					METODOLOGIA DE SOLUCIÓN										USO DEL RESULTADO					
	VERTICAL	HORIZONTAL	INDUSTRIAL	CONSTRUCCIÓN	COMERCIAL	FINANCIERO	SERVICIOS	MANUFACTURA	TECNOLOGIA	CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	RELACIÓN COMPRADOR - VENDEDOR	TOMA DE DECISIONES	GESTIÓN DE CONOCIMIENTO	RENDIMIENTO DE LAS EMPRESAS	PRONOSTICOS COLABORATIVOS	OTRAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS	ANÁLISIS DE REGRESIÓN	ECUACIONES	TEORIA DEL CONOCIMIENTO	INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES	MINERIA DE DATOS	DINAMICA DE SISTEMAS	OPTIMIZACIÓN	SIMULACIÓN	SISTEMA BASADO EN AGENTES	TEORIA DE JUEGOS	ESTRATEGICO	TACTICO	OPERATIVO	
(Han and Shi 2010)	X			X										X			X											X		
(Wang, Dong et al. 2009)	X		X							X		X					X								X			X		
(Valtakoski 2015)	X						X				X					X												X		
(Badea, Prosteian et al. 2014)	X												X						X									X		
(Rathore and Ilavarasan 2014)	X		X							X						X												X		
(Angerhofer and Angelides 2006)	X		X									X		X											X			X		
(Ponte, Costas et al. 2016)	X		X																				X					X		
(Tapiero and Kogan 2007)	X		X									X															X	X		
(Low and hsueh Chen 2013)		X			X							X		X								X							X	
(Holimchayachotikul, Derrouiche et al. 2014)	X		X								X			X							X							X		
(Grudinschi, Sintonen et al. 2014)	X						X			X	X							X											X	
(Gnimpieba, Nait-Sidi-Moh et al. 2015)	X		X							X															X					X
(Luzzini, Brandon-Jones et al. 2015)	X		X											X				X										X		
(Alfnes, Dreyer et al. 2012)	X		X							X		X		X											X				X	
(Gomes and Neto 2015)	X		X							X		X				X												X		
(Bolarín, Caro et al. 2010)	X													X								X							X	
(Wiengarten, Humphreys et al. 2010)	X		X							X				X			X													X

AUTOR	TIPO DE COL.		ENTORNO DE APLICACIÓN: SECTOR							ELEMENTOS CLAVES DEL PROBLEMA						METODOLOGIA DE SOLUCIÓN										USO DEL RESULTADO				
	VERTICAL	HORIZONTAL	INDUSTRIAL	CONSTRUCCIÓN	COMERCIAL	FINANCIERO	SERVICIOS	MANUFACTURA	TECNOLOGIA	CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	RELACIÓN COMPRADOR - VENDEDOR	TOMA DE DECISIONES	GESTIÓN DE CONOCIMIENTO	RENDIMIENTO DE LAS EMPRESAS	PRONOSTICOS COLABORATIVOS	OTRAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS	ANALISIS DE REGRESIÓN	ECUACIONES	TEORIA DEL CONOCIMIENTO	INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES	MINERIA DE DATOS	DINAMICA DE SISTEMAS	OPTIMIZACIÓN	SIMULACIÓN	SISTEMA BASADO EN AGENTES	TEORIA DE JUEGOS	ESTRATEGICO	TACTICO	OPERATIVO	
(Bowles and Morgan 2016)	X					X				X	X			X							X									X
(Vieira and Júnior 2005)	X		X							X															X					X
(Lin 2016)	X		X								X			X									X							X
(Zhu 2007)	X		X		X						X					X														X
(Barnes and Liao 2012)	X		X									X	X					X												X
(Venkateswaran and Son 2005)	X		X								X	X													X			X		
(Hernández, Alemany et al. 2009)	X		X									X													X		X			
(Azambuja, Ponticelli et al. 2014)		X	X								X	X															X	X		
(Cao, Vonderembse et al. 2010)	X		X									X				X													X	
(Cao and Zhang 2011)			X										X	X				X										X		
(Cao and Zhang 2010)	X		X								X			X				X										X		
(Arvitrida, Robinson et al. 2015)	X		X											X				X										X		
(Colin, Estampe et al. 2011)	X		X								X	X		X											X		X			
(Pesämaa, Eriksson et al. 2009)	X				X					X				X						X								X		
(Keskinocak and Savasaneril 2008)	X		X								X						X													X
(Guillaume, Marques et al. 2014)	X											X								X								X		
(Derrouiche, Holimchayachotikul et al. 2011)	X		X									X		X							X							X		
(Boute, Disney et al. 2008)	X		X							X	X									X								X		
(Liao and Kuo 2014)	X		X							X				X		X													X	
(Cai, Goh et al. 2013)	X		X							X	X					X													X	

AUTOR	TIPO DE COL.		ENTORNO DE APLICACIÓN: SECTOR							ELEMENTOS CLAVES DEL PROBLEMA						METODOLOGIA DE SOLUCIÓN										USO DEL RESULTADO			
	VERTICAL	HORIZONTAL	INDUSTRIAL	CONSTRUCCIÓN	COMERCIAL	FINANCIERO	SERVICIOS	MANUFACTURA	TECNOLOGIA	CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	RELACIÓN COMPRADOR - VENDEDOR	TOMA DE DECISIONES	GESTIÓN DE CONOCIMIENTO	RENDIMIENTO DE LAS EMPRESAS	PRONOSTICOS COLABORATIVOS	OTRAS HERRAMIENTAS ESTADISTICAS	ANÁLISIS DE REGRESIÓN	ECUACIONES	TEORIA DEL CONOCIMIENTO	INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES	MINERIA DE DATOS	DINAMICA DE SISTEMAS	OPTIMIZACIÓN	SIMULACIÓN	SISTEMA BASADO EN AGENTES	TEORIA DE JUEGOS	ESTRATEGICO	TACTICO	OPERATIVO
(Sungbae and Taesoo 2016)	X		X									X				X											X		
(Ramanathan 2014)	X		X									X		X										X			X		
(Ramanathan and Gunasekaran 2014)		X	X									X		X				X									X		
(Wenzhe and Qinghua 2010)	X	X	X							X		X														X	X		
(Xiang, Chen et al. 2005)	X				X					X						X											X		
(Hang and Fong 2008)	X		X							X	X												X						X
(Che and Chiang 2012)	X		X								X			X									X						X
(Udin and Khan 2002)	X		X							X		X	X						X								X		
(Inaam, Abderrahman et al. 2016)	X		X							X				X										X			X		
(Qinghua, Tong et al. 2015),	X		X											X									X						X
(Zhili and Wenjun 2009)	X		X									X		X												X	X		
(Bautista-Santos, Martínez-Flores et al. 2015)	X							X			X					x											x		
(Ascencio, González-Ramírez et al. 2014)		x			x					x				x										x			x		
(Fliedner 2006)	x		x							x								x									x		
(Lin and Harding 2007)		X	X							X								X						X					X
(Whipple and Russell 2007)		X			X									X							X							X	
(Bakker, Walker et al. 2008)		X			X							X	X								X						X		
(Thomson and Perry 2006)		X	X		X					X				X											X		X		
(Elofson and Robinson 2007)	X		X								X													X					X

AUTOR	TIPO DE COL.		ENTORNO DE APLICACIÓN: SECTOR						ELEMENTOS CLAVES DEL PROBLEMA						METODOLOGIA DE SOLUCIÓN										USO DEL RESULTADO				
	VERTICAL	HORIZONTAL	INDUSTRIAL	CONSTRUCCIÓN	COMERCIAL	FINANCIERO	SERVICIOS	MANUFACTURA	TECNOLOGIA	CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	RELACIÓN COMPRADOR - VENDEADOR	TOMA DE DECISIONES	GESTIÓN DE CONOCIMIENTO	RENDIMIENTO DE LAS EMPRESAS	PRONOSTICOS COLABORATIVOS	OTRAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS	ANÁLISIS DE REGRESIÓN	ECUACIONES	TEORIA DEL CONOCIMIENTO	INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES	MINERIA DE DATOS	DINAMICA DE SISTEMAS	OPTIMIZACIÓN	SIMULACIÓN	SISTEMA BASADO EN AGENTES	TEORIA DE JUEGOS	ESTRATEGICO	TACTICO	OPERATIVO
(Fulford and Standing 2014)		X		X										X							X						X		
(Cha and Kim 2016)	X								X	X	X			X											X				X
(Vachon and Klassen 2008)			X											X							X						X		
(Whipple, Lynch et al. 2010)		X			X							X					X										X		
(Hernández, Poler Escoto et al. 2008)		X							X				X								X						X		
(Doukidis, Matopoulos et al. 2007)		X	X											X							X								X
(Wee, Thoo et al. 2016)	X							X			X										X							X	
(Sutton, Smedley et al. 2008)		X				X								X							X						X		
(Zice, Zhengping et al. 2001)	X							X			X												X					X	
(Jiao, You et al. 2006)	X							X						X											X			X	
(Kwon, Im et al. 2011)		X							X					X		X									X				X
(Sanders 2007)	X	X							X					X					X								X		
(Simatupang, Wright et al. 2004)	X				X									X						X							X		
(Simonin 1997)	X		X									X	X					X									X		
(Simatupang and Sridharan 2004)	X				X					X				X					X								X		
(Kaufman, Wood et al. 2000)	X							X			X					X											X		
(Nishioka 2004)		X						X				X		X												X		X	
(Jung and Jeong 2005)	X				X						X			X												X			X
(Koh, Gunasekaran et al. 2008)	X		X								X										X							X	
(Barratt and Oliveira 2001)	X											X									X							X	
(Småros 2007)	X							X		X					X						X							X	

AUTOR	TIPO DE COL.		ENTORNO DE APLICACIÓN: SECTOR						ELEMENTOS CLAVES DEL PROBLEMA						METODOLOGIA DE SOLUCIÓN										USO DEL RESULTADO					
	VERTICAL	HORIZONTAL	INDUSTRIAL	CONSTRUCCIÓN	COMERCIAL	FINANCIERO	SERVICIOS	MANUFACTURA	TECNOLOGÍA	CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	RELACIÓN COMPRADOR - VENDEDOR	TOMA DE DECISIONES	GESTIÓN DE CONOCIMIENTO	RENDIMIENTO DE LAS EMPRESAS	PRONOSTICOS COLABORATIVOS	OTRAS HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS	ANÁLISIS DE REGRESIÓN	ECUACIONES	TEORIA DEL CONOCIMIENTO	INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES	MINERIA DE DATOS	DINAMICA DE SISTEMAS	OPTIMIZACIÓN	SIMULACIÓN	SISTEMA BASADO EN AGENTES	TEORIA DE JUEGOS	ESTRATEGICO	TACTICO	OPERATIVO	
(Hansen and Nohria 2004)		X			X	X	X	X						X		X												X		
(Chakraborty, Bhattacharya et al. 2014)	X						X							X											X			X		
(Boddy, Macbeth et al. 2000)	X		X								X												X					X		
(Caridi, Cigolini* et al. 2005)	X							X						X										X					X	
(Mishra and Shah 2009)	X							X						X		X												X		
(Cicmil and Marshall 2005)	X			X								X			X						X							X		
(Paulraj, Lado et al. 2008)	X							X						X				X										X		
(Kwon, Im et al. 2007)	X							X																	X			X		
(Cao and Zhang 2011)	X							X										X										X		
(Huxham 1993)		X					X								X											X		X		
(Stank, Keller et al. 2001)		X						X			X			X							X								X	
(Helen Walker, Blome et al. 2014)	X							X						X							X								X	
(Spekman and Carraway 2006)	X		X								X										X							X		
(Moyaux, Chaib-Draa et al. 2004)	X		X									X														X			X	
(Tseng, Jhang et al. 2007)	X							X						X						X										X
(Squire, Cousins et al. 2009)	X		X								X			X							X							X		
(Dudek and Stadtler 2005)		X						X			X	X								X								X		
(Oh and Rhee 2008)	X										X					X												X		
(Singh and Power 2009)	X							X			X							X												X
(Hingley, Lindgreen et al. 2011)		X					X							X							X								X	

2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En busca de la identificación de la brecha de investigación en el desarrollo del conocimiento sobre el problema de compra colaborativa, a continuación se presenta un análisis con la distribución de los artículos para cada uno de los criterios considerados anteriormente:

- a. *Tipo de colaboración:* se puede observar que el 78% de las publicaciones encontradas manejan problemas orientados en la colaboración vertical, por lo tanto la brecha de investigación está latente hacia las colaboraciones horizontales.



Figura 5. Clasificación de publicaciones con base en el tipo de Colaboración.
Fuente de elaboración: Propia.

- b. *Entorno de aplicación:* se observa que el 51% de las publicaciones centraron su atención en el sector industrial, seguido por el manufacturero con un 19% y el comercial con un 13%.

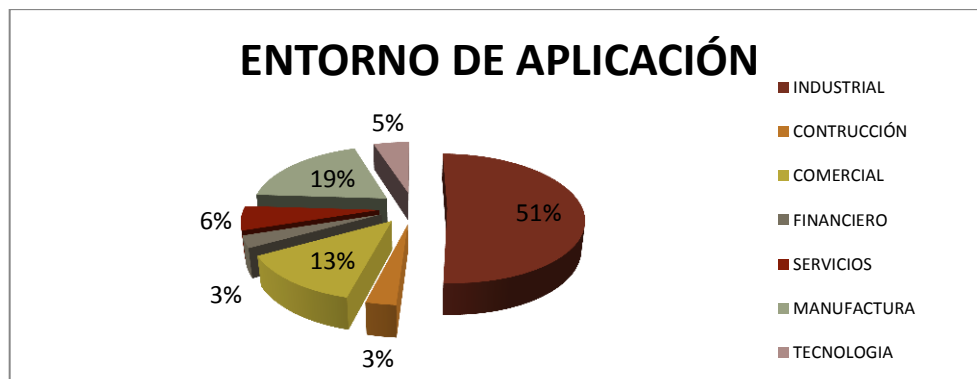


Figura 6. Clasificación de publicaciones con base en el entorno de Aplicación – Sector.
Fuente de elaboración: Propia.

- c. *Elementos claves del problema:* dentro de los elementos claves del problema se observa que las investigaciones desarrolladas están enfocadas en el rendimiento de las empresas en un 33%, seguido de la toma de decisiones con un 20%, relación comprado-vendedor 18%, calidad de la información en un 18%, la gestión del conocimiento un 5% , pronósticos colaborativos 3%

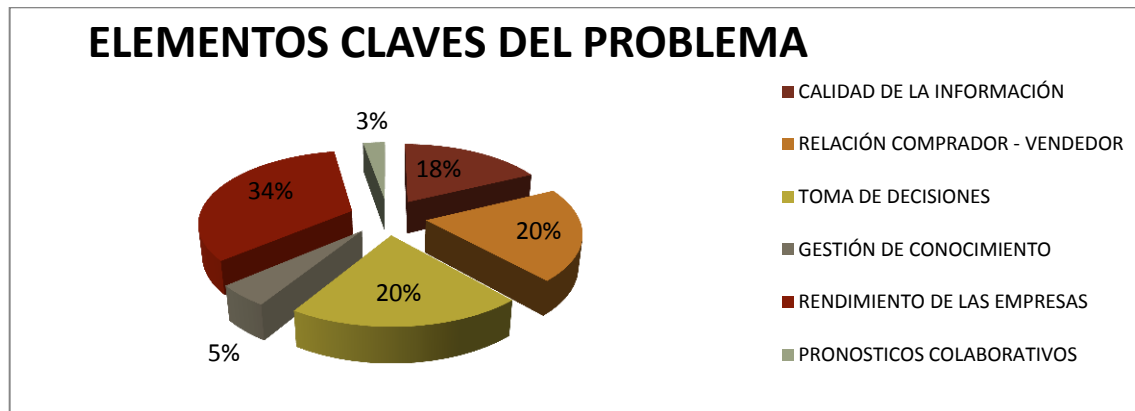


Figura 7. Elementos claves del problema.
Fuente de elaboración: Propia

- d. *Método de solución:* se puede ver que las publicaciones estudiadas usan diversidad de métodos de solución en los que se destacan las ecuaciones estructurales y el análisis estadístico como principales herramientas de solución para el manejo de las cadenas de suministros colaborativas.

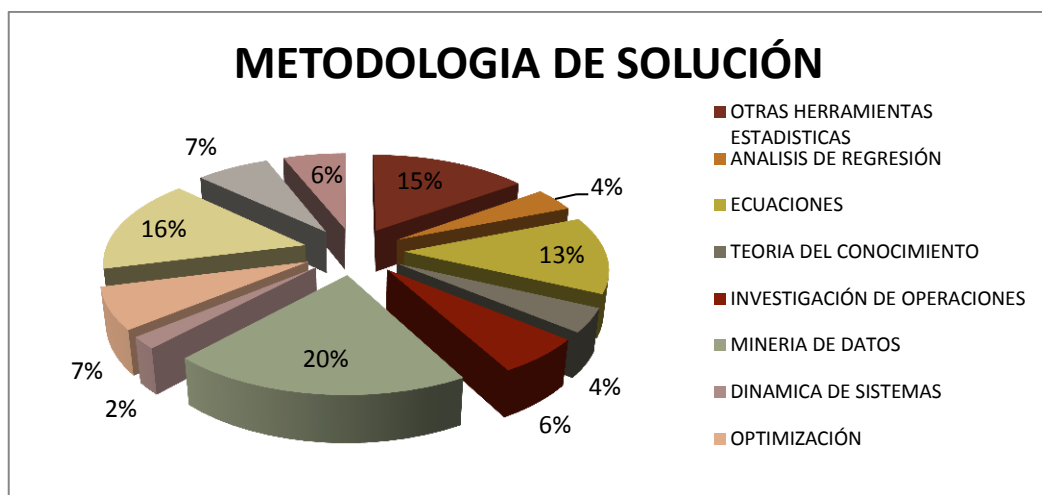


Figura 8. Métodos de solución.
Fuente de elaboración: Propia.

- e. *Uso del resultado*: el 55% de las publicaciones se encontraban enfocadas en usar el resultado de la investigación estratégicamente.

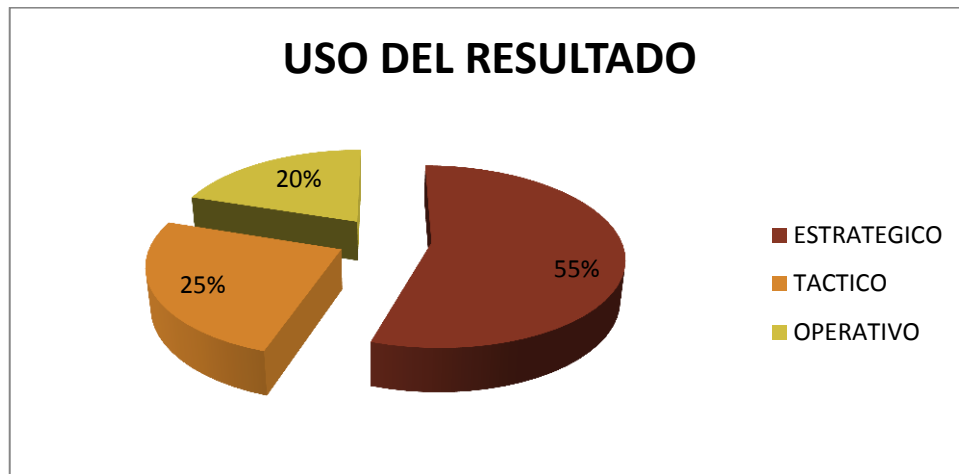


Figura 9. Uso del resultado.
Fuente de elaboración: Propia.

En esta revisión literaria, se observa un sesgo relacionado con el tipo de colaboración estudiada, ya que la mayoría de las investigaciones están ligadas a la colaboración vertical, enfocadas en su mayoría al sector económico industrial. Se han usado diversos métodos de solución a este problema y el resultado que se obtiene de estas puertas en marcha es usado con fines estratégicos.

En función de esta revisión del estado del arte, no existe profundidad en la modelación de problemas que presenten colaboración en la cadena de suministros, así como la asignación de estos costos a cada uno de los miembros de la cadena de suministro, por consiguiente la presente investigación se encuentra orientada al sector productivo, la contribución se encuentra enfocada en cerrar la brecha existente desde el punto de vista del costo de la actividad, en donde se trabaja un modelo colaborativo de compra con el objetivo de minimizar el desperdicio.

3. CAPÍTULO III. LA ESTRATEGIA DE SOLUCIÓN PARA EL PROBLEMA DE APROVECHAMIENTO DEL RETAL A TRAVÉS DE LA CREACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE APROVISIONAMIENTO INTERNO.

Este capítulo presenta el diseño de la estrategia de solución para el problema de aprovechamiento del retal a través de la creación de una estrategia aprovisionamiento interno entre proyectos de una misma empresa. Está constituido por 3 secciones, la primera presenta el levantamiento y la consolidación de la demanda para convertirla en clusters haciendo una revisión de las características y atributos de los productos; La segunda, presenta el modelo de optimización y finalmente, se presenta el modelo de costos.

3.1. LEVANTAMIENTO Y CONSOLIDACIÓN DE PROYECTOS (CLUSTERS)

La primera etapa para el desarrollo de la estrategia de solución para el problema radica en la consolidación de las órdenes de producción, para esto debe establecerse un horizonte de planeación t , en el que se van a considerar todos los proyectos que se van a programar en términos de sus características.

En otras palabras, consiste básicamente hacer un levantamiento de todas las ordenes de producción que se estarían programando dentro de un espacio de tiempo definido, para saber cuáles son los órdenes de producción que formarán los clusters.

3.1.1. SELECCIÓN DE CRITERIOS

El diseño de familias de productos ha recibido una atención considerable de la industria y el mundo académico en los últimos años (Hernandez, Allen et al. 2001). Las familias de productos pueden utilizarse como base para evaluar la dinámica de las capacidades de las empresas (Meyer and Utterback 1993).

Una familia de productos se refiere a un conjunto de productos similares que se derivan de una plataforma común y que, no obstante, poseen funciones o funcionalidades específicas para satisfacer los requisitos particulares de los clientes (Meyer and Lehnerd 1997). En términos generales, una familia de productos es un grupo de productos relacionados para satisfacer una variedad de nichos de mercado (Simpson, Siddique et al. 2006).

El diseño y desarrollo de la familia de productos ha sido abordado desde diversas perspectivas, como en las áreas de estrategia empresarial, marketing, fabricación y

producción, ingeniería de clientes, tecnología de la información y administración general. Simpson (Simpson, Siddique et al. 2006)

Salén (1994) expresa la diferencia entre categoría de productos y familias de productos; la primera corresponde a un tipo de necesidad, mientras que la segunda agrupa artículos que corresponden a la misma necesidad (Salén 1994).

Según Kotler and Keller (2009) la clasificación de los productos se hace jerárquicamente y va desde las necesidades básicas has los artículos específicos que las satisfacen (Kotler and Keller 2009). Se pueden identificar seis niveles en la jerarquía de productos:

1. *Familia de necesidades*: la necesidad fundamental que subyace en la existencia de una familia de productos.
2. *Familia de productos*: Todas las clases de productos que pueden satisfacer una necesidad fundamenta con una eficacia razonable.
3. *Clase de productos*: el grupo o conjunto de bienes de una misma familia de productos que comparten cierta coherencia funcional.
4. *Línea de productos*: productos de la misma clase relacionados porque desempeñan na función similar.
5. *Tipo de productos*: artículos dentro de una misma línea que comparten una o varias formas posibles.
6. *Artículo*: unidad que se puede distinguir dentro de una marca o línea de producto.

Visto desde diferentes ámbitos, las familias de productos pueden cambiar de interpretación. Desde la perspectiva de marketing y ventas, la estructura funcional de las familias de productos exhibe la línea de productos o la cartera de productos de una empresa y, por lo tanto, se caracteriza por varios conjuntos de características funcionales para diferentes grupos de clientes (Agard and Kusiak* 2004). La visión de ingeniería incorpora diferentes tecnologías de producto y la fabricación asociada y por lo tanto se caracteriza por varios parámetros de diseño, componentes y estructuras de ensamblaje (De Lit and Delchambre 2003).

En muchos casos, la toma de decisiones de múltiples criterios, dada una serie de alternativas a diferentes niveles de abstracción de la arquitectura del producto, requiere aprovechar tres pilares: costo, ingresos y desempeño. Jiao, Simpson et al. (2007) presenta métricas para el diseño de la familia de productos (Jiao, Simpson et al. 2007):

- Modularidad: corresponde a la complejidad de los productos y procesos asociados a su producción.
- Comunidad: uniformidad de los componentes del producto o características comunes.
- *Variedad / carácter distintivo*: analiza las similitudes evidenciados en la distribución o configuración del producto.
- *Costo*: abarca los costos de producción que hacen que los productos sean más indistinguibles entre sí, como el tiempo de producción, el costo del material y el costo de inventario.
- *Beneficio / valoración*: productos evaluados por el beneficio o el ingreso esperado.

3.2. MODELO DE OPTIMIZACIÓN

Teniendo en cuenta que el tipo de materia prima a la que se encuentra dirigido el problema es discreta y se debe optimizar de manera longitudinal, el modelo de optimización que se propone dentro de la metodología de solución está enfocado en el problema de corte unidimensional.

El sistema está compuesto por m piezas de longitud L a cortar que se encuentran en stock, los pedidos se reciben agrupados por referencias, tenemos una demanda determinística d_i de la subpieza i de longitud l_i .

El objeto es minimizar el número de perfiles usados para satisfacer las demandas o si se mira desde otro punto de vista, se debe minimizar el desperdicio que se genera del corte de las subpiezas.

El modelo considera que, la suma de la cantidad de subpiezas i asignadas al perfil j debe ser al menos igual a la demanda d_i de la subpieza establecida y que las longitudes l_i de las

subpiezas asignadas al perfil j más el ancho de una herramienta de corte C , no deben superar la longitud de la pieza L .

Sea a_j una variable binaria que representa asignación del perfil j y x_{ij} la cantidad de subpiezas i asignados al perfil j , tenemos:

$$Z_{min} = \sum_{j=1}^n a_j$$

Sujeto a

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \geq d_i$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m l_i x_{ij} + (x_{ij} * C) \leq L a_j$$

$$a_j \in \{0,1\}$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ y entero}$$

El modelo presentado anteriormente corresponde a un modelo de programación lineal entero, cuyo método de solución se realiza mediante métodos exactos de solución, para el ejercicio de la investigación el modelo será cargado en una interfaz de solución.

Este modelo de optimización fue puesto en marcha por medio del software GAMS. Es importante tener en cuenta la escalabilidad del modelo, ya que para este caso se está resolviendo por una semana de producción, sin embargo, a medida que el horizonte de tiempo aumente es posible que se requiera una metaheurísticas para la solución.

3.3. MODELO DE COSTEO

Teniendo en cuenta los clusters ya optimizados, surge la necesidad de distribuir los costos de manera equitativa. Se puede hacer la analogía, se presume que las órdenes de producción son jugadores participantes en juego cooperativo.

Un juego cooperativo consiste en un conjunto de N jugadores y una asignación monetaria $V(S)$ para cada coalición $S \subseteq N$ (Monsalve 2003), siendo una coalición un grupo de jugadores que no compiten entre sí, sino que trabajan conjuntamente para conseguir un objetivo.

Ahora, ¿cómo se distribuye el beneficio obtenido por la coalición a cada uno de los jugadores? El valor de Shapley, lo soluciona teniendo en cuenta estas condiciones (Shapley 1953):

Si x_i , $i \in N$, es la asignación que recibiría en la distribución de Shapley el jugador i , entonces:

- a) *Eficiencia*: todos los beneficios son asignados en su totalidad.

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n = V(N)$$

- b) *Jugador pasivo*: Si para algún $i \in N$, $V(S \cup \{i\}) = V(S)$ para toda coalición S , entonces $x_i = 0$.

- c) *Simetría*: Si las valoraciones de las coaliciones no cambian cuando se reemplaza un jugador por cualquier otro, entonces, todos reciben lo mismo. Es decir,

$$x_1 = \dots = x_n.$$

- d) *Linealidad*: Si V y W son dos valoraciones distintas sobre el mismo conjunto N de jugadores, entonces la asignación de cualquier jugador para la valoración V y para la valoración W es aditiva. Es decir,

$$\text{Para todo } i \in N, x_i(V + W) = x_i(V) + x_i(W)$$

El valor de Shapley satisface las cuatro anteriores condiciones, denominadas axiomas, la forma explícita para calcular las asignaciones de estos beneficios entre los jugadores, está basado en las “contribuciones marginales”, lo que quiere decir el aporte de cada jugador a la coalición:

$$x_i = \frac{\sum_{r \in R} (\Delta_i(S_i(r)))}{n!}$$

Donde R es el conjunto de los $n!$ Posibles ordenamientos de N , $S_i(r)$ corresponde al conjunto de jugadores que preceden a i en el orden r , $\Delta_i(S) = V(S \cup \{i\}) - V(S)$ es la contribución marginal del jugador i a la coalición S .

El hecho de trabajar cooperativamente aumenta la probabilidad de obtener una ganancia superior frente a la obtenida de actuar individualmente. En un juego cooperativo no es necesario analizar las estrategias de los jugadores como ocurre en los juegos no cooperativos; basta solo con conocer la utilidad que puede obtener cada coalición y el vector de beneficios asociado a los resultados del juego (Peleg and Sudhölter 2007).

El índice de Shapley ofrece una medida de la distribución de poder avalada por sus elegantes propiedades matemáticas (Carreras and Owen 1995).

Los beneficios de la empresa de la cadena de suministro colaborativa significan nuevos ingresos agregados que se crea por la cooperación mutua de todas las empresas y la coordinación. Contiene temas de interés, objeto de interés e intermediario de interés (Zhili and Wenjun 2009).

4. CAPITULO IV. CASO DE ESTUDIO

Este capítulo presenta la fase de experimentación y resultados para evaluar el desempeño de la estrategia de solución para el problema de aprovechamiento del retal. La realización de esta división inicia con la descripción del proceso actual, así como el procedimiento de optimización actual, seguido a esto, se presenta el desarrollo de la estrategia, donde se ejecuta el nuevo modelo de optimización y el modelo de costeo propuesto para el escenario colaborativo. Finalmente, se presenta el análisis de los resultados.

El problema para el caso de estudio que se va a desarrollar, utiliza un lenguaje propio del sector, a continuación los términos más destacados, los cuales se utilizaran en la descripción de este capítulo:

- **Orden/Proyecto:** es una obra arquitectónica que presenta unos requerimientos y condiciones que se analizan para satisfacer las necesidades del cliente, dependiendo de los productos solicitados, estos pueden ir desde pequeñas obras residenciales a grandes complejos comerciales.
- **Sistema:** elemento arquitectónico compuesto por vidrio y aluminio que se instala en un vano, ventana.
- **Retal:** es el material sobrante que se genera del corte, que cumple con las medidas mínimas para ser reingresado al inventario.

4.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Para desarrollar la estrategia de solución se tomó el caso de una empresa que fabrica sistemas arquitectónicos en aluminio y vidrio (ventanería), entre los cuales se tienen fachadas piel de vidrio, puertas y ventanas corredizas, ventanas proyectantes, puertas batientes y barandas. Siendo el aluminio una de las materias primas para la elaboración de las ventanas con características discretas y a su vez conformando el 55% de los costos, es necesario enfocar la atención en el análisis de este insumo.

El aluminio es comprado en perfiles con longitudes establecidas para cada una de las referencias que hacen parte de un sistema, se manejan en inventario 1.047 referencias en 106 acabados diferentes entre pintados, anodizados y en madera, para conformar 176

sistemas arquitectónicos en aluminio vidrio sujetos a cambios según las condiciones de obra. La utilización y funcionalidad de los sistemas son directamente proporcionales al número de referencias de aluminio que se usan para su elaboración, en promedio un sistema cuenta con 9 referencias diferentes, algunos sistemas comparten las mismas referencias.

Los pedidos de este material se realizan semanalmente, teniendo en cuenta la programación de las órdenes de producción y las fechas de despacho de las mismas, el proveedor del aluminio, maneja un lead time de 3 semanas a partir del pedido. Teniendo que la programación de la producción se realiza semanalmente, este será el periodo de tiempo definido para la puesta en práctica de la metodología diseñada en esta investigación.

Actualmente, la empresa realiza los pedidos directamente para cada orden de producción de manera independiente basándose en la solicitud de requerimientos de material (*ver tabla 4*) expresada a través de una lista de corte que presenta las referencias que se necesitan para la fabricación del sistema, así como las longitud de cada una de ella.

En la siguiente tabla, la referencia corresponde a un tipo de extrusión de aluminio específica, la longitud corresponde a la dimensión del corte que debe realizar a la pieza entera que se encuentra en el inventario, esta longitud varía según el requerimiento del proyecto, la cantidad hace referencia al número de subpiezas que se necesitan para fabricar el sistema, la cual varía según la dimisión de la orden y finalmente el acabado corresponde al nombre del color que maneja la piza de aluminio, bien sea obtenido a través de la pintura o tratamiento químico.

Tabla 4. Modelo de lista de requerimientos de materiales para corte.

SISTEMA	REFERENCIA	LONGITUD	ACABADO	ORDEN	CANTIDAD
ES-P350	ES-P252-010	35.5625	D. ECLIPSE GRAY	182900	1
ES-W425	ES-WC25-003	21.1875	D. SUNSTORM ZACTIQUE	190765	4
MWS-180	V2006	1.438	D.PLTNM MICA	199889	96
MWS-180	V3100	162.375	D.PLTNM MICA	199889	116
MWS-180	V3101	54.4375	D.PLTNM MICA	199889	42
MWS-180	V3105	147.3125	D.PLTNM MICA	199889	96
ES-P350	ES-P250-008	65.1875	DS SILVERSMITH 2	125387	8
ES-P350	ES-P250-016	10.6875	DS SILVERSMITH 2	125387	10
ES-P350	ES-P252-509	57.1875	DS SILVERSMITH 2	125387	22
ES-P350	ES-P350-012	26.0625	DS SILVERSMITH 2	125387	10

SISTEMA	REFERENCIA	LONGITUD	ACABADO	ORDEN	CANTIDAD
ES-P350	ES-P350-013	73.6875	DS SILVERSMITH 2	125387	2
ES-P350	ES-P350-501	29.5	DS SILVERSMITH 2	125387	5
ES-P350	ES-P350-504	65.5625	DS SILVERSMITH 2	125387	4
ES-P350	ES-P350-505	67.625	DS SILVERSMITH 2	125387	5
ES-P350	ES-P350-507	65.5625	DS SILVERSMITH 2	125387	4
ES-P350	ES-P350-508	67.125	DS SILVERSMITH 2	125387	3
ES-P350	ES-P350-509	66.6875	DS SILVERSMITH 2	125387	3
ES-P350	ES-P350-510	30.9375	DS SILVERSMITH 2	125387	5
ES-P350	ES-P350-511	45.5625	DS SILVERSMITH 2	125387	5
ES-P350	ES-P350-512	66.6875	DS SILVERSMITH 2	125387	2
ES-P350	ES-P350-513	66.6875	DS SILVERSMITH 2	125387	2
ES-P250	ES-P250-005	24.6875	DURACRON PEWTER	101705	22
MWS-180	V1001	184.875	DURACRON ECLIPSE GRAY	120639	2
MWS-180	V1005	184.875	DURACRON ECLIPSE GRAY	120639	2
MWS-180	V2000	46.25	DURACRON ECLIPSE GRAY	120639	24
MWS-180	V2001	57.25	DURACRON ECLIPSE GRAY	120639	24
MWS-180	V2003	57.25	DURACRON ECLIPSE GRAY	120639	25
MWS-180	V4003	2.3125	DURACRON ECLIPSE GRAY	120639	192
ES-W425	ES-W425-006	21.1875	DURACRON S600 ZACTIQUE	156438	4
ES-W425	ES-W425-006	27.1875	DURACRON S600 ZACTIQUE	156438	5
ES-W425	ES-W425-502	21.25	DURACRON S600 ZACTIQUE	156438	4
ES-W425	ES-W425-504	27.25	DURACRON S600 ZACTIQUE	156438	5
ES-W425	ES-W425-511	82.3125	DURACRON S600 ZACTIQUE	156438	18
ES-W425	103-013	3	MF ALODINE	112801	180
ES-W425	ES-WC25-011	4	MF ALODINE	51117	18
MWS-180	ALU-A-009	1.125	MF ALODINE	51117	96
MWS-180	ALU-A-027	56.125	MF ALODINE	51117	45
MWS-180	ES-CF-001	4	MF ALODINE	51117	96
MWS-180	V9001	6	MF ALODINE	51117	192
MWS-180	V9007	6	MF ALODINE	51117	198
ES-P250	ES-EUR-001	15.8125	MILL FINISH	112487	11
ES-P350	AAC-A-027	1.0625	MILL FINISH	112487	5
MWS-180	2400ST-031	8.5	MILL FINISH	16789	34
MWS-180	2400ST-031	12	MILL FINISH	10987	158
MWS-180	ES-A-018	1	MILL FINISH	52678	144
MWS-180	V5007	4	MILL FINISH	52678	192
MWS-180	V5008	4.875	MILL FINISH	52678	192
MWS-180	V5009	4	MILL FINISH	52678	226

Tan pronto el material se encuentre en la empresa, se realiza la optimización del mismo, usando una plataforma propia de la empresa que arroja la distribución de los cortes en la pieza entera. El resultado de esta optimización da como resultado un reporte que presenta el número de piezas enteras que se debe utilizar para suplir con el requerimiento de materiales, adicionalmente, presenta el porcentaje de desperdicio de la optimización y el porcentaje de reutilización, teniendo en cuenta una definición dada de longitudes máximas y mínimas para cada referencia.

Tabla 5. Resumen de optimizador.

ESTADO	PESO (%)
PESO TOTAL DE PIEZAS USADAS (KG):	1,691.38
PESO TOTAL DE PIEZAS CORTADAS (KG):	1,389.71 (82.16%)
PESO TOTAL DE ITEMS REUTILIZABLES (KG):	60.40 (3.57%)
PESO TOTAL DEL SCRAP (KG):	241.27 (14.26%)

El porcentaje de material que es reutilizado se conserva en una bodega especial para este tipo de material el cual es llamado retal. La bodega de retales tiene una rotación del 12%, debido al tiempo de rotación que tienen estas piezas, la manipulación y el tiempo de almacenamiento provoca el deterioro de la misma, lo cual imposibilita usar este material para próximas producciones o para reposiciones de material que sufre no conformidades en el proceso, por lo tanto este material se convierte en material desechado.

4.1.1. PROCEDIMIENTO DE OPTIMIZACIÓN ACTUAL

Actualmente, la orden de producción absorbe los costos del material desechable y de los retales, los cuales retornan al sistema con precio cero, convirtiéndose en una aparente ganancia para la empresa; sin embargo, teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, los retales tienen una baja probabilidad de ser usados en una nueva producción, esto es viable siempre y cuando el material se mantenga en condiciones correctas de calidad, en caso de que los retales sean usados por otra orden, es importante mencionar que en la nueva orden de producción el material es costado completo.

A continuación se presenta el costo de una semana de producción, correspondiente a 115 órdenes de producción:

Tabla 6. Costo de semana de producción.

DESCRIPCIÓN	PESO (KG)	COSTO
PESO TOTAL SEMANA	73,082	\$ 1,027,816,927
PESO DESPERDICIO TOTAL SEMANA	22,802	\$ 172,473,983
PESO MATERIAL REUTILIZABLE TOTAL SEMANA	20,597	\$ 249,108,935
TOTAL GENERAL	116,482	\$ 1,449,399,844

4.2. DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA

Para el análisis se mantiene el horizonte de una semana de producción, debido a que las ordenes de producción son programadas en dicho rango de tiempo, así mismo se trabajará con las mismas ordenes presentadas en el ítem anterior, con el fin de mantener las mismas condiciones para generar igualdad al momento de comparar los resultados.

Se realizó un estudio detallado de las características claves del producto, para la formación de los clusters de proyectos, los cuales compartirán material y formarán una coalición donde el valor de Shapley definirá la distribución de los costos.

Para esto, se revisó la compatibilidad entre las referencias de ciertos sistemas, para crear familias de producto, acto seguido dichas familias de productos se dividieron por acabados creando los clusters.

Dentro de la semana de programación se tienen 115 órdenes de producción, cada una de ellas está compuesta por una cantidad definida de ventanas de un sistema específico en un acabado dado, teniendo en cuenta los criterios escogidos para la consolidación de la demanda, se agruparon las ordenes respectivamente y se formaron 62 clusters. Es importante tener en cuenta que para las órdenes de producción que son únicas en acabado y sistema durante la semana, se incluyeron cada una en un cluster de tamaño 1.

Ahora, en el escenario colaborativo, los pedidos del material se deben seguir realizando semanalmente, sin embargo, los pedidos deberán estar asociados a los clusters de producción, lo cual estará definido por la suma de los requerimientos de material de cada orden perteneciente al cluster.

Tabla 7. Clusters de órdenes de producción por características.

Fuente de elaboración: Propia.

CL	SISTEMA	ACABADO	ORDENES DE PRODUCCIÓN	CL	SISTEMA	ACABADO	ORDENES DE PRODUCCIÓN
1	050M	DS A.SILVER	13179	30	ES6600/ES6500	DS SILVERSTORM	13044, 13191, 13234, 13266, 13267, 16075
2	2400ST	DS A.SILVER	13185, 13186, 13189	31	ES6600	MILL FINISH	13049, 13052
3	2400ST	MILL FINISH	13188, 13202, 13255	32	ES7100	D.BNE WHITE	13155, 13156
4	ES1000	P.ESP WHITE	51123, 51217	33	ES7000	DS A.SILVER	13181, 13182, 13205
5	ES1100WW	DS SILVERSTORM	13190, 16070	34	ES7100	DS SILVERSTORM	13045, 13192, 13235, 13241, 13265, 16080
6	ES1000	P.LG BRONZE	51235	35	ES7000	D.BRM BRONZE	51284
7	ES1500	CLEAR ANOD	51196	36	ES7000	P.LG BRONZE	51113
8	ES1500	P.ESP WHITE	51125	37	ES8000	P.ESP WHITE	51169
9	ES1500/ES1600	P.LG BRONZE	51140, 51199	38	ES8000	P.LG BRONZE	51121, 51203
10	ES2000/ES2100	CLEAR ANOD	51194, 51229	39	ES-P251	MILL FINISH	1053
11	ES2000	P.ESP WHITE	51166, 51225, 51231	40	ES-P350	MILL FINISH	728, 0729
12	ES2000/ES2100	P.LG BRONZE	51118, 51200, 51222, 51235	41	ES-RL3030	DS SILVERSTORM	13395
13	ES2100	DS A.SILVER	13204	42	ES-W425	D. SUNSTORM ZAC	0991, 0992
14	ES9500	DS SILVERSTORM	13245, 13246	43	HR2600	DS A.SILVER	13183, 13184
15	ES9500	P.LG BRONZE	50918, 51114	44	HR2600	DS SILVERSTORM	13229, 13268, 13347, 16085
16	ES-P250	MILL FINISH	1052	45	ES9000	D.BNE WHITE	13283
17	ES3000/ES3000i	P.ESP WHITE	51220, 51237	46	ES9000	P.ESP WHITE	51171
18	ES3000	P.LG BRONZE	51115, 51202, 51221	47	MWS180	MILL FINISH	988
19	ES4000	P.ESP WHITE	51224, 51234	48	PIEZAS	DS GRAPHITE GRAY	1167
20	ES4000	P.LG BRONZE	51197	49	PIEZAS	MILL FINISH	1100
21	ES5000	CLEAR ANOD	51116	50	PIEZAS	P.ESP WHITE	51126
22	ES5000	DS SILVERSTORM	13240	51	SCREENS	CLEAR ANOD	51117, 51195, 51230
23	ES5000	P.ESP WHITE	51167, 51233	52	SCREENS	DS GRAPHITE GRAY	1197
24	ES6100	DS A.SILVER	13288	53	SCREENS	P.ESP WHITE	51124, 51168, 51218, 51226, 51232
25	ES6000	MILL FINISH	13242	54	SCREENS	P.LG BRONZE	51119, 51201, 51223, 51236
26	ES6000	P.ESP WHITE	51219	55	SCREENS	CLEAR ANOD	51193
27	ES6600	CLEAR ANOD	13287	56	SCREENS	DS GRAPHITE GRAY	13051, 13054
28	ES6600/ES6500	D.BNE WHITE	13153, 13154	57	SCREENS	DS SILVERSTORM	13237
29	ES6500	DS A.SILVER	13286	58	SCREENS	P.LG BRONZE	51120, 51198
				59	ES7100	DS GRAPHITE GRAY	13050, 13053

Teniendo en cuenta que los datos de las órdenes de producción son descargados directamente desde la base de datos de la empresa, por temas de confidencialidad estos no pueden ser manipulados por herramientas externas. Por tal razón, los clusters fueron optimizados en la herramienta de optimización usada en la empresa; mediante la implementación, se cargó en la plataforma de la misma el modelo lineal presentado anteriormente (*ver numeral 3.2*). Es importante tener en cuenta que la herramienta de optimización de la empresa presenta una interfaz de resultados que permite la programación de la producción con datos reales.

Para efectuar la optimización, la herramienta se alimenta con el listado real de piezas de cada referencia que se encuentra en el inventario de la empresa, así mismo como con el

requerimiento de material a optimizar. El optimizador toma en consideración los desperdicios generados por la herramienta de corte al momento de realizar cada corte, así como los despuntes que se le debe realizar a cada pieza. De igual forma, tiene en cuenta los pesos lineales de cada referencia de aluminio, con lo que finalmente arroja como resultados el peso total de la optimización, peso total y porcentaje de desperdicio y peso total y porcentaje de material reutilizable. Todos estos datos se reflejan en un reporte final, donde también se detalla la distribución óptima de los cortes a realizar, discriminada por referencia y se resume en un listado, la cantidad de piezas necesarias para completar el requerimiento de material.

Tan pronto se tengan las optimizaciones de material por cada cluster finalizadas, surge el siguiente interrogante: ¿Del costo total del requerimiento de material, cuánto porcentaje del le corresponde a cada orden?, esto será definido por el valor de Shapley.

4.2.1. PROCEDIMIENTO DE COSTEO COLABORATIVO

Teniendo en cuenta la metodología planteada, el modelo de costeo que se propone para este escenario se va a efectuar de acuerdo con la asignación del valor del Shapley, el cual cuenta con todas las características necesarias para este caso, ya que realiza una asignación que garantiza la equidad en la distribución. Generalmente este valor evalúa los beneficios, sin embargo para este caso se van a manejar asignaciones de costos, por lo tanto los valores se tomarán en negativo.

Para poder calcular el valor de Shapley, es necesario conocer la asignación monetaria que genera cada coalición $V(S)$, por lo tanto se deben optimizar las $V(S)$ coaliciones para poder hallar los costos que se generan en cada, se deben realizar las $2^n - 1$ posibles combinaciones entre los jugadores, para esto, se tomara como ejemplo el cluster 2 conformado por 3 órdenes las cuales para este caso serían los jugadores, entonces tenemos $2^3 - 1$, es decir, 7 combinaciones (*ver figura 10*).

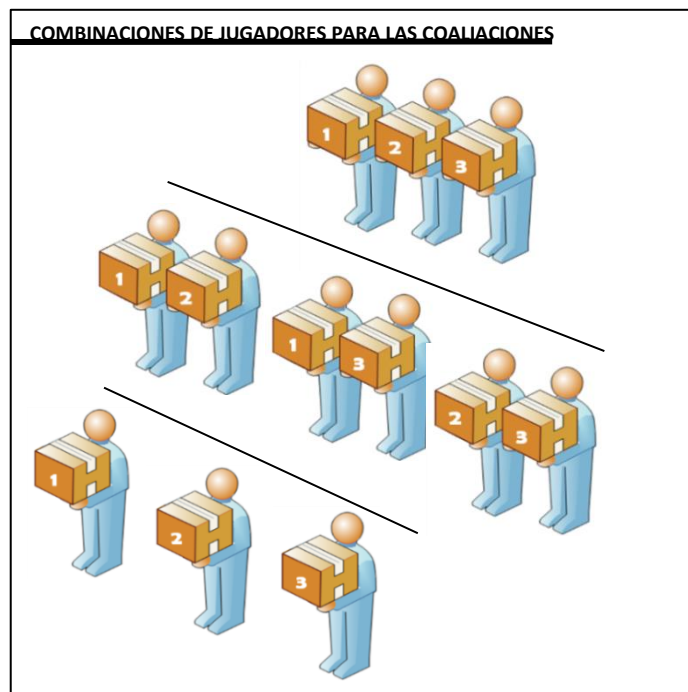


Figura 10. Combinaciones de jugadores para las coaliciones.
Fuente de elaboración: Propia.

Siguiendo con el ejemplo del cluster número 2, a continuación (*ver tabla 8*) se presenta el resultado de las optimizaciones realizadas a cada una de las coaliciones, así como el costo de las mismas, siendo estos las contribuciones monetarias para cada coalición.

Tabla 8. Optimización de las coaliciones.

CL	COMBINACIÓN	JUGADORES	ORDEN	PESO DESPERDICIO	PESO REUTILIZABLE	PESO RESERVA	COSTO TOTAL
2	1	JUGADOR 1	13189	31.9	35.7	460.1	\$ 6,679,169
	2	JUGADOR 2	13185	64.0	24.5	1701.4	\$24,696,552
	3	JUGADOR 3	13186	64.0	24.5	1701.4	\$24,696,552
	4	JUGADORES 1 Y 2	13189 13185	91.2	12.7	2096.8	\$30,435,696
	5	JUGADORES 1 Y 3	13189 13186	91.2	12.7	2096.8	\$30,435,696
	6	JUGADORES 2 Y 3	13185 13186	126.5	7.4	3340.2	\$48,484,288
	7	JUGADORES 1,2 Y 3	13189 13185 13186	157.0	21.5	3774.7	\$54,791,860

La combinación número 7 presentada en la tabla 8, corresponde al costo generado por la optimización del material bajo el escenario colaborativo, cual es menor al costo correspondiente al escenario tradicional compuesto por la suma de los costos de los jugadores 1, 2 y 3 optimizados de manera independiente. Entonces, la función de Shapley va a definir el porcentaje del costo presentado por el escenario colaborativo asignado a cada una de las órdenes.

Para calcular el valor asignado a cada orden por medio de la función de Shapley, los costos totales para cada una de las coaliciones son los datos de entrada para la función de Shapley, en la siguiente se puede observar la asignación realizada para el cluster 2:

Tabla 9. Costos asignados según el valor de Shapley.

CLUSTER	JUGADORES	OPT FINAL	ESCENARIO TRADICIONAL	ESCENARIO COLABORATIVO	AHORRO
2	JUGADOR 1	13189	\$ 6,679,169	\$ 6,242,000	\$ 437,169
	JUGADOR 2	13185	\$ 24,696,552	\$ 24,275,000	\$ 421,552
	JUGADOR 3	13186	\$ 24,696,552	\$ 24,275,000	\$ 421,552
TOTAL GENERAL			\$ 56,072,273	\$ 54,792,000	\$ 1,280,273

De la tabla anterior (ver tabla 9), se observa la manera en la que fue distribuido el costo total del requerimiento de material bajo el esquema colaborativo, que comparado con el escenario tradicional muestra un ahorro del 2,3%.

Si a priori, se quisiera verificar la efectividad de la asignación de Shapley, se puede observar que las ordenes 13185 y 13186 presentan el mismo costo tanto para el escenario tradicional como para el colaborativo con la diferencia del ahorro en \$421.552 para cada orden, esto se debe a que estas órdenes corresponden a un mismo proyecto y contienen el mismo número de ventanas, la diferencia interna entre ellas es la ubicación de las ventanas en la construcción, por consiguiente gastan la misma cantidad del material, por lo tanto se nota que esta es la mejor forma de distribuir los costos sin perjudicar a ninguna orden de producción dentro de cluster.

4.2.1.1. Casos excepcionales

Durante el desarrollo del caso, al momento de aplicar el valor de Shapley, se hizo evidente como alguna de las coaliciones no obtenían resultados positivos para todos los jugadores, por tal motivo de debían reevaluar la formación de dichos cluster.

Caso A: Coaliciones sin ahorro.

Presenta la situación en los que las coaliciones no aportaban ningún tipo de ahorro a los jugadores participantes, es decir, el costo del material resulta ser el mismo al existir o no una compra colaborativa interna, para este se decidió que no hubiera juego, es decir, cada orden se optimiza por separado.

Tabla 10. Resultados Shapley para caso excepcional A.

	COMBINACIONES	AHORRO POR COMBINACIÓN	VALOR SHAPLEY ASIGNADO	AHORRO SEGÚN VALOR SHAPLEY
CLUSTER A	JUGADOR 1	-23874974	-23874974	0
	JUGADOR 2	-21528831	-21528831	0
	JUGADOR 1-2	-45403805	N/A	N/A

Caso B: Coalición de proyectos con igual requerimiento de materiales.

Presenta la situación en la que los jugadores en coalición gastan exactamente el mismo peso de material que al participar de manera separada, sin embargo, al momento de realizar la compra colaborativa interna entre los dos proyectos, se obtiene que no es conveniente la unión, motivo por el cual se decidió no hacer el juego.

Tabla 11. Resultados Shapley para caso excepcional B.

	COMBINACIONES	AHORRO POR COMBINACIÓN	VALOR SHAPLEY ASIGNADO	AHORRO SEGÚN VALOR SHAPLEY
CLUSTER B	JUGADOR 1	-7165319	-7165853	-0,0075
	JUGADOR 2	-7165319	-7165853	-0,0075
	JUGADOR 1-2	-14331706	N/A	N/A

Caso C: Coaliciones no beneficiosas para participantes de los clusters.

Presenta el caso donde no todos los jugadores que benefician de la coalición, por consiguiente, se decidió sacar a estos jugadores del juego y formar nuevas coaliciones.

Tabla 12. Resultados Shapley para caso excepcional C.

	COMBINACIONES	AHORRO POR COMBINACIÓN	VALOR SHAPLEY ASIGNADO	AHORRO SEGÚN VALOR SHAPLEY
CLUSTER C	JUGADOR 1	-43617961	-5,1398	-17,8378
	JUGADOR 2	-28958452	-2,5572	11,6951
	JUGADOR 3	-22978786	-2,5238	-9,8322
	JUGADOR 4	-16458417	-1,8095	-9,9451
	JUGADOR 5	-11567704	-0,7251	37,3154
	JUGADOR 6	-29071238	-2,4860	14,4861
	JUGADOR 1-2-3-4-5-6	-152414649	N/A	N/A

4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La tabla 10 presenta la comparación entre los resultados del escenario de compra tradicional y compra colaborativa aplicados al caso de estudio; en esta se logra apreciar a nivel general una mejora en la optimización del material mediante el uso de Clusters (agrupaciones), lo cual se refleja en la disminución de los costos totales asociados a las reservas procesadas.

Tabla 13. Comparativo de resultados, compra tradicional Vs compra colaborativa.

COMPRA TRADICIONAL				COMPRA COLABORATIVA		
CLUSTER	DESPERDICIO	MAT REUTILIZABLE	VALOR TOTAL	DESPERDICIO	MAT REUTILIZABLE	VALOR TOTAL
1	\$ 569.337	\$ 761.773	\$ 23.295.805	\$ 569.337	\$ 761.773	\$ 23.295.805
2	\$ 1.209.319	\$ 1.228.896	\$ 56.072.273	\$ 1.187.759	\$ 312.314	\$ 54.791.860
3	\$ 4.359.090	\$ 1.780.330	\$ 38.849.109	\$ 3.851.260	\$ 481.288	\$ 36.739.559
4	\$ 66.093	\$ 11.045.714	\$ 13.844.049	\$ 70.823	\$ 129.687	\$ 2.927.469
5	\$ 27.482	\$ 773.944	\$ 1.648.092	\$ 30.360	\$ 180.147	\$ 1.051.649
6	\$ 69.331	\$ 381.300	\$ 2.269.641	\$ 69.331	\$ 381.300	\$ 2.269.641
7	\$ 7.031	\$ -	\$ 141.253	\$ 7.031	\$ -	\$ 141.253
8	\$ 446	\$ 9.450	\$ 24.900	\$ 446	\$ 9.450	\$ 24.900
9	\$ 465.212	\$ 143.207	\$ 11.729.348	\$ 452.289	\$ 148.785	\$ 11.715.383
10	\$ 17.051	\$ 526.142	\$ 972.041	\$ 21.937	\$ 280.302	\$ 733.583
11	\$ 377.989	\$ 536.442	\$ 11.926.056	\$ 372.413	\$ 253.379	\$ 11.584.131
12	\$ 46.278	\$ 541.430	\$ 1.973.919	\$ 45.702	\$ 350.661	\$ 1.556.000
13	\$ 9.663.313	\$ 8.880.838	\$ 18.544.151	\$ 9.663.313	\$ 8.880.838	\$ 18.544.151
14	\$ 2.068.709	\$ 446.710	\$ 45.403.805	\$ 2.070.234	\$ 440.417	\$ 45.403.805
15	\$ 403.219	\$ 927.948	\$ 16.904.064	\$ 403.420	\$ 516.978	\$ 16.464.264
16	\$ 901.024	\$ 256.780	\$ 1.157.804	\$ 901.024	\$ 256.780	\$ 1.157.804
17	\$ 88.277	\$ 534.198	\$ 1.362.153	\$ 26.974	\$ 250.657	\$ 986.840
18	\$ 180.576	\$ 609.486	\$ 5.445.765	\$ 197.051	\$ 401.962	\$ 4.890.051
19	\$ 75.782	\$ 178.149	\$ 1.148.351	\$ 32.804	\$ 123.075	\$ 1.029.057
20	\$ 2.199.914	\$ 1.184.879	\$ 3.384.793	\$ 2.199.914	\$ 1.184.879	\$ 3.384.793
21	\$ 317.310	\$ 160.174	\$ 477.484	\$ 317.310	\$ 160.174	\$ 477.484
22	\$ 1.047.463	\$ 962.646	\$ 2.010.109	\$ 1.047.463	\$ 962.646	\$ 2.010.109
23	\$ 15.453	\$ 38.823	\$ 854.642	\$ 18.886	\$ 37.528	\$ 759.682
24	\$ 12.313.587	\$ 11.316.510	\$ 23.630.097	\$ 12.313.587	\$ 11.316.510	\$ 23.630.097
25	\$ 17.526.242	\$ 4.994.747	\$ 22.520.989	\$ 17.526.242	\$ 4.994.747	\$ 22.520.989
26	\$ 552.626	\$ 274.287	\$ 826.912	\$ 552.626	\$ 274.287	\$ 826.912
27	\$ 4.230.696	\$ 2.135.601	\$ 6.366.298	\$ 4.230.696	\$ 2.135.601	\$ 6.366.298
28	\$ 647.385	\$ 390.085	\$ 9.252.915	\$ 655.190	\$ 360.292	\$ 9.238.254
29	\$ 1.077.492	\$ 990.243	\$ 2.067.735	\$ 1.077.492	\$ 990.243	\$ 2.067.735

COMPRA TRADICIONAL			
CLUSTER	DESPERDICIO	MAT REUTILIZABLE	VALOR TOTAL
30	\$ 5.552.838	\$ 2.130.161	\$ 152.652.559
31	\$ 1.955.009	\$ 32.960	\$ 14.330.637
32	\$ 1.600.439	\$ 615.979	\$ 39.707.191
33	\$ 2.281.173	\$ 869.296	\$ 62.191.579
34	\$ 2.730.621	\$ 1.711.821	\$ 112.757.505
35	\$ 772.738	\$ 710.167	\$ 1.482.905
36	\$ 710.335	\$ 382.588	\$ 1.092.924
37	\$ 1.207.441	\$ 599.293	\$ 1.806.735
38	\$ 47.650	\$ 209.217	\$ 9.649.058
39	\$ 1.489.049	\$ 424.359	\$ 1.913.408
40	\$ 208.828	\$ 795.983	\$ 6.569.310
41	\$ 9.606.280	\$ 8.828.424	\$ 18.434.704
42	\$ 6.172.753	\$ 583.256	\$ 53.015.668
43	\$ 580.484	\$ 454.374	\$ 24.739.663
44	\$ 1.686.411	\$ 1.066.801	\$ 56.509.335
45	\$ 6.564.720	\$ 6.033.150	\$ 12.597.870
46	\$ 739.835	\$ 367.205	\$ 1.107.039
47	\$ 43.226.747	\$ 12.319.051	\$ 55.545.799
48	\$ 828.409	\$ 3.058.398	\$ 3.886.807
49	\$ 13.376.253	\$ 3.812.055	\$ 17.188.309
50	\$ 260.202	\$ 129.147	\$ 389.348
51	\$ 21.993	\$ 249.984	\$ 783.779
52	\$ 1.697.513	\$ 6.267.035	\$ 7.964.548
53	\$ 82.571	\$ 217.675	\$ 3.012.243
54	\$ 37.727	\$ 255.765	\$ 1.221.058
55	\$ 220.718	\$ 111.415	\$ 332.133
56	\$ 11.402	\$ 1.257.928	\$ 3.203.280
57	\$ 6.027.903	\$ 5.539.801	\$ 11.567.704
58	\$ 343.450	\$ 12.920	\$ 7.940.601
59	\$ 1.908.765	\$ 1.494.187	\$ 93.974.000
T GRAL	\$ 172.473.983	\$ 112.551.127	\$ 1.101.672.254

COMPRA COLABORATIVA		
DESPERDICIO	MAT REUTILIZABLE	VALOR TOTAL
\$ 3.939.376	\$ 289.588	\$ 152.414.649
\$ 1.940.769	\$ 12.899	\$ 14.330.000
\$ 1.395.900	\$ 609.782	\$ 23.726.915
\$ 1.726.054	\$ 226.634	\$ 58.111.268
\$ 2.537.136	\$ 996.586	\$ 110.632.000
\$ 772.738	\$ 710.167	\$ 1.482.905
\$ 710.335	\$ 382.588	\$ 1.092.924
\$ 1.207.441	\$ 599.293	\$ 1.806.735
\$ 37.671	\$ 120.066	\$ 9.605.299
\$ 1.489.049	\$ 424.359	\$ 1.913.408
\$ 206.094	\$ 752.737	\$ 6.522.850
\$ 9.606.280	\$ 8.828.424	\$ 18.434.704
\$ 6.170.363	\$ 577.726	\$ 53.002.419
\$ 137.625	\$ 245.945	\$ 3.078.160
\$ 319.340	\$ 698.495	\$ 8.742.114
\$ 6.564.720	\$ 6.033.150	\$ 12.597.870
\$ 739.835	\$ 367.205	\$ 1.107.039
\$ 43.226.747	\$ 12.319.051	\$ 55.545.799
\$ 828.409	\$ 3.058.398	\$ 3.886.807
\$ 13.376.253	\$ 3.812.055	\$ 17.188.309
\$ 260.202	\$ 129.147	\$ 389.348
\$ 1.157	\$ 3.285	\$ 38.017
\$ 1.697.513	\$ 6.267.035	\$ 7.964.548
\$ 21.989	\$ 15.354	\$ 877.392
\$ 11.485	\$ 18.775	\$ 480.183
\$ 220.718	\$ 111.415	\$ 332.133
\$ 11.402	\$ 1.257.928	\$ 3.203.280
\$ 6.027.903	\$ 5.539.801	\$ 11.567.704
\$ 39.062	\$ 232.494	\$ 1.098.743
\$ 1.935.921	\$ 362.582	\$ 92.969.648
\$ 167.072.399	\$ 91.579.667	\$ 980.732.727

La tabulación de los datos permite extraer el valor promedio del ahorro asociado a cada cluster, el cual corresponde a \$4.170.329, es decir, un 3,24%; este valor es la base con la compañía tendrá la posibilidad de establecer un marco de decisiones que incluyen:

- Disminución del costo inicial de la cotización del proyecto al cliente.
- Inversión en la obtención de materia prima para la fabricación.
- Inversión para la Intensificación de tecnologías y/o incremento de la capacidad instalada.

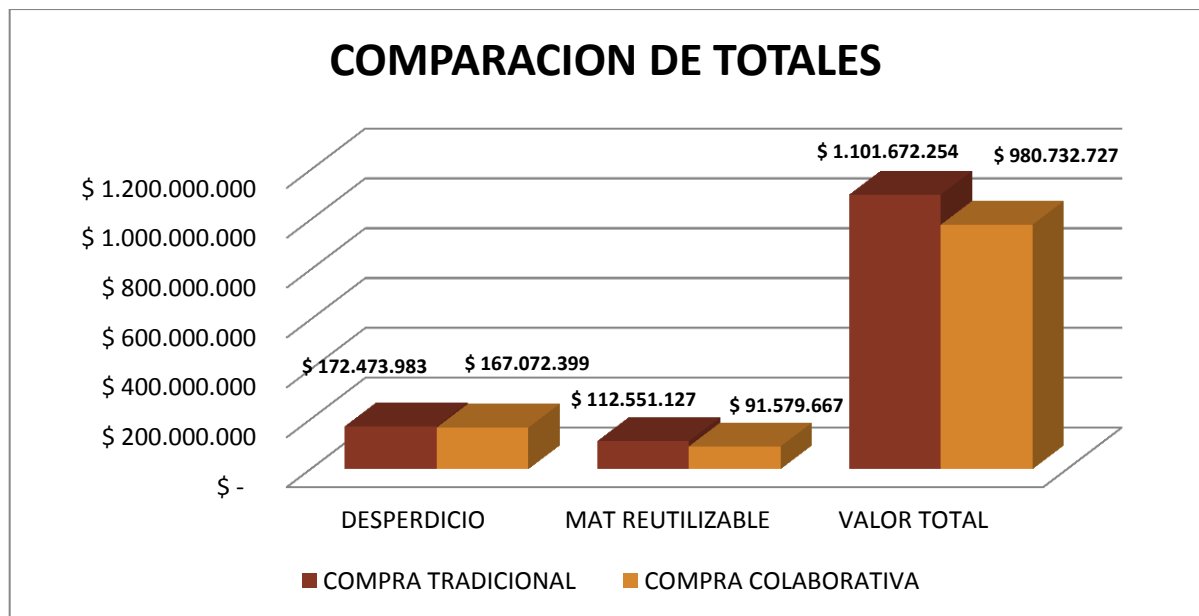


Figura 11. Comparativo de valores totales entre escenario de compra tradicional Vs escenario de compra colaborativa.

La figura 11 muestra el resumen de los valores totales obtenidos mediante la optimización del material utilizando el método actual o tradicional de optimización y el método basado en la colaboración. Mediante el uso de Clusters se obtienen los siguientes resultados asociados a las variables presentadas en el comparativo:

- Material de Desperdicio:** Disminución del desperdicio por un valor de \$5.401.584, es decir, un ahorro del 3,13%.
- Material Reutilizable:** Disminución del material reutilizable por un valor de \$20.971.460, es decir, un ahorro del 18,63%.

- c. Material total:** Disminución del costo total asociado a las reservas programadas en la semana por un valor de \$120.939.527, es decir, un ahorro del 10,98%.

El material reutilizable al que se hace referencia corresponde a los llamados retales, es decir, material residual a la optimización que pueden ser utilizados para la fabricación de otros proyectos. Teniendo en cuenta este concepto y lo mencionado en apartados anteriores, en los que se expresa la baja rotación de retales en las bodegas de aluminio, se puede argumentar que dichos retales constituyen a la larga material Scrap o desperdicio. Lo anterior permite interpretar la disminución de los costos asociados al material reutilizable no solo desde el punto de vista del ahorro económico sino además como un uso más eficiente del material constitutivo de las reservas procesadas.

El caso de estudio se centra en el análisis de la programación de la producción de una semana de trabajo, lo cual corresponde al ahorro en material total ya mencionado. Con el fin de validar estadísticamente el rango en el que se pueden mover los ahorros semanales, se tomó una muestra de 12 semanas de producción para definir un intervalo de confianza para la media de datos, teniendo en cuenta que cada semana tiene una variación natural asociada al proceso.

Tabla 14. Muestra de 12 semana de producción.

PERIODO	COMPRA TRADICIONAL			COMPRA COLABORATIVA		
	Peso Total (Kg)	Mat Scrap (Kg)	Mat Reut (Kg)	Mat Scrap (Kg)	Mat Reut (Kg)	Peso Total (Kg)
MES 1	401.522	75.297	58.643	73.118	50.096	358.600
Semana 1	119.767	21.597	16.532	20.976	13.811	105.994
Semana 2	104.564	20.073	14.857	19.451	12.444	93.919
Semana 3	123.933	23.207	19.247	22.463	16.394	110.549
Semana 4	100.397	19.405	16.335	18.835	13.990	89.052
MES 2	421.753	81.085	58.932	78.753	49.373	380.084
Semana 1	125.802	23.437	18.280	22.712	15.597	111.171
Semana 2	109.832	19.872	15.200	19.278	12.744	95.960
Semana 3	130.178	24.257	22.167	23.475	18.543	116.041
Semana 4	105.456	19.707	15.338	19.088	12.931	92.168
MES 3	462.015	78.828	62.323	76.317	53.081	405.511
Semana 1	137.811	26.430	19.114	25.593	16.184	120.778
Semana 2	120.317	23.059	19.007	22.368	15.960	108.057
Semana 3	142.605	26.924	22.363	26.084	19.133	124.565
Semana 4	115.523	21.203	17.932	20.581	14.973	101.787

A continuación, los datos correspondientes al cálculo de los intervalos de confianza correspondiente a los escenarios de estudio.

Tabla 15. Datos para el cálculo de intervalos de confianza.

DATOS DE OPTS INDIVIDUALES		DATOS DE OPTS CLUSTERS	
\bar{x}	119.682	\bar{x}	105.837
s	11.514	s	13.271
n	12	n	12
$1 - \alpha$	95%	$1 - \alpha$	95%
t	2,59	t	2,59
α	5%	α	5%

Para un nivel de significancia del 95%, se tienen como resultado los siguientes intervalos de confianza para la muestra.

Tabla 16. Intervalos de confianza para la muestra de datos de optimizaciones individuales y en colaboración.

Intervalo Confianza (compra colaborativa)		Intervalo Confianza (compra tradicional)	
Límite inferior	97.218	Límite inferior	111.063
Media de datos	105.837	Media de datos	119.682
Límite superior	114.455	Límite superior	128.301

Teniendo en cuenta que la compañía busca garantizar el cumplimiento de sus programaciones mediante el uso total de sus capacidades semanales y los resultados obtenidos mediante el cálculo de los intervalos de confianza, se puede argumentar que el volumen de proyectos programados a lo largo de cada semana del año no dista de ser muy variable (ver tabla 16), alcanzando valores entre los 11.063kg y 128.301kg, con media de 119.682kg. Por medio de la diferencia entre las medias de los intervalos obtenidos se consigue un ahorro promedio semanal de 11,57% dado el uso de la compra colaborativa interna entre proyectos.

En este punto estamos analizando solo una parte de la cadena de suministros ¿Qué beneficio podemos recibir a lo largo de la cadena completa?

CONCLUSIONES

Esta investigación logra presentar una política de aprovechamiento de retales a través de la creación de una estrategia de aprovisionamiento interno y evaluación de su impacto en la dinámica de costeo. Siendo esta la solución a un problema cotidiano para las empresas que utilizan materias primas con características discretas. Durante la dinámica se logra evidenciar un nivel considerable de material residual en el proceso de optimización, el cual está constituido mayormente por material potencialmente reutilizable (retales), se ha considerado este material reutilizable como desperdicio, puesto que las políticas actuales de manejo de retales en inventario conllevan a la baja rotación de este material y por tanto no es posible asignarles el uso necesario para que este contribuya a la fabricación de otros proyectos.

La revisión y análisis de la literatura demostraron que no se ha realizado un riguroso estudio acerca de los modelos de colaboración horizontal dentro de la cadena de suministro. Sin embargo fue posible evidenciar los beneficios que aportan la colaboración en la cadena de suministros, tales como, la disminución del material en proceso, reducción de costos, incremento de ganancias, impulso a la eficiencia operativa y administración de inventario.

La aplicación de la estrategia de colaboración en el eslabón de la cadena de suministro, se logró gracias a la metodología de consolidación de la demanda mostrada a través de la selección de criterios para la creación de los Clusters de órdenes de producción. El escenario colaborativo se adaptó a la situación analizada.

Por otra parte, al momento de generar los clusters se pierde la trazabilidad del costo por proyecto, surge la necesidad de realizar una distribución equitativa de los costos generados bajo el escenario colaborativo, por lo cual se creó un modelo de gestión de costos que asigna el valor a través de la función de Shapley.

Finalmente se evaluó el impacto en la dinámica de costeo, presentando un ahorro significativo, así mismo se mostró una proyección de ahorro anual, la cual promete resultados beneficiosos tanto para la empresa, como para el cliente potencialmente.

Para futuras investigaciones se propone un análisis a lo largo de la cadena de suministro, así como considerar la automatización de la optimización de las combinaciones entre los requerimientos de material y la conexión con la función de Shapley.

REFERENCIAS

- Agard, B. and A. Kusiak* (2004). "Data-mining-based methodology for the design of product families." International Journal of Production Research **42**(15): 2955-2969.
- Alfnes, E., H. Dreyer, H.-H. Hvolby, K. Steger-Jensen and K. Fraser (2012). A concept for collaborative supply chain planning. Cognitive Infocommunications (CogInfoCom), 2012 IEEE 3rd International Conference on, IEEE.
- Angerhofer, B. J. and M. C. Angelides (2006). "A model and a performance measurement system for collaborative supply chains." Decision Support Systems **42**(1): 283-301.
- Arvitrida, N. I., S. Robinson and A. A. Tako (2015). How do competition and collaboration affect supply chain performance? An agent based modeling approach. 2015 Winter Simulation Conference (WSC), IEEE.
- Ascencio, L., R. González-Ramírez, L. Bearzotti, N. Smith and J. Camacho-Vallejo (2014). "A collaborative supply chain management system for a maritime port logistics chain." Journal of applied research and technology **12**(3): 444-458.
- Azambuja, M. M., S. Ponticelli and W. J. O'Brien (2014). "Strategic procurement practices for the industrial supply chain." Journal of Construction Engineering and Management **140**(7): 06014005.
- Badea, A., G. Prosteau, G. Goncalves and H. Allaoui (2014). "Assessing risk factors in collaborative supply chain with the analytic hierarchy process (AHP)." Procedia-Social and Behavioral Sciences **124**: 114-123.
- Bakker, E., H. Walker, F. Schotanus and C. Harland (2008). "Choosing an organisational form: the case of collaborative procurement initiatives." International journal of procurement management **1**(3): 297-317.
- Barnes, J. and Y. Liao (2012). "The effect of individual, network, and collaborative competencies on the supply chain management system." International Journal of Production Economics **140**(2): 888-899.
- Barratt, M. and A. Oliveira (2001). "Exploring the experiences of collaborative planning initiatives." International Journal of Physical Distribution & Logistics Management **31**(4): 266-289.
- Bautista-Santos, H., J. L. Martínez-Flores, G. Fernández-Lambert, M. B. Bernabé-Loranca, F. Sánchez-Galván and N. Sablón-Cossío (2015). "Integration model of collaborative supply chain." Dyna **82**(193): 145-154.
- Boddy, D., D. Macbeth and B. Wagner (2000). "Implementing collaboration between organizations: an empirical study of supply chain partnering." Journal of Management studies **37**(7): 1003-1018.
- Bolarín, F. C., E. M. Caro and L. R. McDonnell (2010). "Cadenas de suministro tradicionales y colaborativas: Análisis de su influencia en la gestión de la variabilidad de la demanda." Dyna **85**(1): 33-40.
- Bommer, M., B. O'Neil and S. Treat (2001). "Strategic assessment of the supply chain interface: a beverage industry case study." International Journal of Physical Distribution & Logistics Management **31**(1): 11-25.

- Boute, R. N., S. M. Disney, M. R. Lambrecht and B. Van Houdt (2008). "A win-win solution for the bullwhip problem." Production Planning and Control **19**(7): 702-711.
- Bowles, G. and J. Morgan (2016). "An evaluation of the performance of a large scale collaborative procurement initiative in the social housing sector." Engineering, Construction and Architectural Management **23**(1): 60-74.
- Braggins, D. and Y. Zare Mehrjerdi (2009). "The collaborative supply chain." Assembly Automation **29**(2): 127-136.
- Cabral, L. M. (2000). "R&D cooperation and product market competition." International Journal of Industrial Organization **18**(7): 1033-1047.
- Cai, S., M. Goh, R. de Souza and G. Li (2013). "Knowledge sharing in collaborative supply chains: twin effects of trust and power." International Journal of Production Research **51**(7): 2060-2076.
- Cannella, S. and E. Ciancimino (2010). "On the bullwhip avoidance phase: supply chain collaboration and order smoothing." International Journal of Production Research **48**(22): 6739-6776.
- Cao, M., M. A. Vonderembse, Q. Zhang and T. Ragu-Nathan (2010). "Supply chain collaboration: conceptualisation and instrument development." International Journal of Production Research **48**(22): 6613-6635.
- Cao, M. and Q. Zhang (2010). "Supply chain collaborative advantage: a firm's perspective." International Journal of Production Economics **128**(1): 358-367.
- Cao, M. and Q. Zhang (2011). "Supply chain collaboration: Impact on collaborative advantage and firm performance." Journal of Operations Management **29**(3): 163-180.
- Caridi, M., R. Cigolini* and D. De Marco (2005). "Improving supply-chain collaboration by linking intelligent agents to CPFR." International journal of production research **43**(20): 4191-4218.
- Carreras, F. and G. Owen (1995). "Valor coalicional y estrategias parlamentarias." Reis: 157-176.
- Cerchione, R. and E. Esposito (2016). "A systematic review of supply chain knowledge management research: State of the art and research opportunities." International Journal of Production Economics **182**: 276-292.
- Cha, K.-J. and Y. S. Kim (2016). "Critical success factors for mutual collaboration with suppliers in IT outsourcing industry: a case study of a top IT outsourcing company in Korea." Enterprise Information Systems: 1-20.
- Chakraborty, S., S. Bhattacharya and D. D. Dobrzykowski (2014). "Impact of supply chain collaboration on value co-creation and firm performance: a healthcare service sector perspective." Procedia Economics and Finance **11**: 676-694.
- Chan, F. T. and A. Prakash (2012). "Inventory management in a lateral collaborative manufacturing supply chain: a simulation study." International Journal of Production Research **50**(16): 4670-4685.
- Che, Z. and T.-A. Chiang (2012). "Designing a collaborative supply-chain plan using the analytic hierarchy process and genetic algorithm with cycle-time estimation." International Journal of Production Research **50**(16): 4426-4443.

Chen, I. J., A. Paulraj and A. A. Lado (2004). "Strategic purchasing, supply management, and firm performance." Journal of operations management **22**(5): 505-523.

Cicmil, S. and D. Marshall (2005). "Insights into collaboration at the project level: complexity, social interaction and procurement mechanisms." Building Research & Information **33**(6): 523-535.

Claudio, M. C., M. A. Dumois and R. O. Rodríguez (sin fecha) "¿ CUAL ES LA MEJOR ESTRUCTURA DE NEGOCIOS PARA ACUERDOS COLABORATIVOS PARA LA COMPRA DE SUMINISTROS?".

Colin, J., D. Estampe, O. Allal-Chérif and S. Maira (2011). "Collaboration as an anti-crisis solution: the role of the procurement function." International Journal of Physical Distribution & Logistics Management **41**(9): 860-877.

Dantchev, S. and B. Martin (2009). Cutting planes and the parameter cutwidth. Conference on Computability in Europe, Springer.

De Lit, P. and A. Delchambre (2003). Integrated design of a product family and its assembly system, Springer Science & Business Media.

Deming, W. E. and J. N. Medina (1989). Calidad, productividad y competitividad: la salida de la crisis, Ediciones Díaz de Santos.

Derrouiche, R., P. Holimchayachotikul and K. Leksakul (2011). Predictive performance model in collaborative supply chain using decision tree and clustering technique. 2011 4th International Conference on Logistics, IEEE.

Disney, S. M. and D. R. Towill (2003). "The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in supply chains." International journal of production economics **85**(2): 199-215.

Doukidis, G. I., A. Matopoulos, M. Vlachopoulou, V. Manthou and B. Manos (2007). "A conceptual framework for supply chain collaboration: empirical evidence from the agri-food industry." Supply Chain Management: an international journal **12**(3): 177-186.

Dudek, G. and H. Stadtler (2005). "Negotiation-based collaborative planning between supply chains partners." European Journal of Operational Research **163**(3): 668-687.

Elofson, G. and W. N. Robinson (2007). "Collective customer collaboration impacts on supply-chain performance." International Journal of Production Research **45**(11): 2567-2594.

Fawcett, S. E., M. A. Waller and A. M. Fawcett (2010). "Elaborating a dynamic systems theory to understand collaborative inventory successes and failures." The International Journal of Logistics Management **21**(3): 510-537.

Ferrell, O. and M. D. Hartline (2012). Estratégia de marketing, Cengage Learning Editores.

Fliedner, G. (2006). "Collaborative Supply Chain Forecasting: A Lean Framework." Alliance Journal of Business Research **2**(1): 33-48.

Fulford, R. and C. Standing (2014). "Construction industry productivity and the potential for collaborative practice." International Journal of Project Management **32**(2): 315-326.

Gao, Z. and L. Tang (2003). "A multi-objective model for purchasing of bulk raw materials of a large-scale integrated steel plant." International Journal of Production Economics **83**(3): 325-334.

García Travieso, M. V. (2014). "Problema del viajante de comercio (TSP): métodos exactos de resolución."

Giannakis, M. and M. Louis (2011). "A multi-agent based framework for supply chain risk management." Journal of Purchasing and Supply Management **17**(1): 23-31.

Gnimpieba, Z. D. R., A. Nait-Sidi-Moh, D. Durand and J. Fortin (2015). "Using Internet of Things technologies for a collaborative supply chain: application to tracking of pallets and containers." Procedia Computer Science **56**: 550-557.

Gomes, L. d. C. and F. J. K. Neto (2015). "MÉTODOS COLABORATIVOS NA GESTÃO DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS: DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO/ Collaborative methods in supply chain management: implementation challenges/Métodos colaborativos en la gestión de cadenas de suministros: desafíos de implementación." Revista de Administração de Empresas **55**(5): 563.

Grudinschi, D., S. Sintonen and J. Hallikas (2014). "Relationship risk perception and determinants of the collaboration fluency of buyer–supplier relationships in public service procurement." Journal of Purchasing and Supply Management **20**(2): 82-91.

Guillaume, R., G. Marques, C. Thierry and D. Dubois (2014). "Decision support with ill-known criteria in the collaborative supply chain context." Engineering Applications of Artificial Intelligence **36**: 1-11.

Han, F. and C. Shi (2010). Study on the Constructio n of Dynamic Core Competence Based on Collaborative Supply Chain Management. ICLEM 2010: Logistics For Sustained Economic Development: Infrastructure, Information, Integration: 4590-4596.

Hang, Y. and S. Fong (2008). Double-agent architecture for collaborative supply chain formation. Proceedings of the 10th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services, ACM.

Hansen, M. T. and N. Nohria (2004). "How to build collaborative advantage." MIT Sloan Management Review **46**(1): 22.

Helen Walker, P. S. S., Professor Joseph Sarkis and Professor Robert Klassen, Professor, C. Blome, A. Paulraj and K. Schuetz (2014). "Supply chain collaboration and sustainability: a profile deviation analysis." International Journal of Operations & Production Management **34**(5): 639-663.

Hernandez, G., J. K. Allen, G. Woodruff, T. W. Simpson, E. Bascaran, L. F. Avila and F. Salinas (2001). "Robust design of families of products with production modeling and evaluation." Journal of Mechanical Design **123**(2): 183-190.

Hernández, J. E., M. Alemany, F. C. Lario and R. Poler (2009). "SCAMM-CPA: A supply chain agent-based modelling methodology that supports a collaborative planning process." Innovar **19**(34): 99-120.

Hernández, J. E., R. Poler Escoto, J. Mula and D. Peidro (2008). "A collaborative knowledge management framework for supply chains: A UML-based model approach." Hernández, JE; et al. A collaborative knowledge management framework for supply chains: a UML-based model approach. Journal of Industrial Engineering and Management, 2008, v. 1, n. 2, p. 77-103.

Hingley, M., A. Lindgreen, D. B. Grant and C. Kane (2011). "Using fourth-party logistics management to improve horizontal collaboration among grocery retailers." Supply Chain Management: An International Journal **16**(5): 316-327.

Holmchayachotikul, P., R. Derrouiche, D. Damand and K. Leksakul (2014). "Value creation through collaborative supply chain: holistic performance enhancement road map." Production Planning & Control **25**(11): 912-922.

Holweg, M., S. Disney, J. Holmström and J. Småros (2005). "Supply Chain Collaboration:: Making Sense of the Strategy Continuum." European management journal **23**(2): 170-181.

Huxham, C. (1993). "Pursuing collaborative advantage." Journal of the Operational Research Society: 599-611.

Inaam, Z., M. Abderrahman and H. Yasmina (2016). "A framework of Performance Assessment of Collaborative Supply Chain." IFAC-PapersOnLine **49**(12): 845-850.

Jiao, J. R., T. W. Simpson and Z. Siddique (2007). "Product family design and platform-based product development: a state-of-the-art review." Journal of intelligent Manufacturing **18**(1): 5-29.

Jiao, J. R., X. You and A. Kumar (2006). "An agent-based framework for collaborative negotiation in the global manufacturing supply chain network." Robotics and Computer-Integrated Manufacturing **22**(3): 239-255.

Jung, H. and B. Jeong (2005). "Decentralised production-distribution planning system using collaborative agents in supply chain network." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology **25**(1): 167-173.

Karuranga, É., S. D'Amours and J.-M. Frayret (2008). Measurement and determinants of supply chain collaboration, CIRRELT Université de Montreal, Montreal.

Kaufman, A., C. H. Wood and G. Theyel (2000). "Collaboration and technology linkages: a strategic supplier typology." Strategic Management Journal: 649-663.

Keskinocak, P. and S. Savaseneril (2008). "Collaborative procurement among competing buyers." Naval Research Logistics **55**(6): 516-540.

Koh, S., A. Gunasekaran and D. Rajkumar (2008). "ERP II: The involvement, benefits and impediments of collaborative information sharing." International Journal of Production Economics **113**(1): 245-268.

Kotler, P. and K. L. Keller (2009). Dirección de marketing, Pearson educación.

Kwon, O., G. Im and K. Lee (2011). "An agent-based web service approach for supply chain collaboration." Scientia Iranica **18**(6): 1545-1552.

Kwon, O., G. P. Im and K. C. Lee (2007). "MACE-SCM: A multi-agent and case-based reasoning collaboration mechanism for supply chain management under supply and demand uncertainties." Expert Systems with Applications **33**(3): 690-705.

Lambert, D. M., M. A. Emmelhainz and J. T. Gardner (1999). "Building successful logistics partnerships." Journal of Business Logistics **20**(1): 165.

Le Blanc, H., M. Van Krieken, H. Fleuren and H. R. Krikke (2004). "Collector managed inventory, a proactive planning approach to the collection of liquids coming from end-of-life vehicles."

- Liao, S.-H. and F.-I. Kuo (2014). "The study of relationships between the collaboration for supply chain, supply chain capabilities and firm performance: A case of the Taiwan's TFT-LCD industry." International Journal of Production Economics **156**: 295-304.
- Lin, H. and J. A. Harding (2007). "A manufacturing system engineering ontology model on the semantic web for inter-enterprise collaboration." Computers in Industry **58**(5): 428-437.
- Lin, H.-J. (2016). "Investing in lead-time variability reduction in a collaborative vendor-buyer supply chain model with stochastic lead time." Computers & Operations Research **72**: 43-49.
- Low, C. and Y. hsueh Chen (2013). "A model measurement system for collaborative supply chain partners." Journal of Manufacturing Systems **32**(1): 180-188.
- Luzzini, D., E. Brandon-Jones, A. Brandon-Jones and G. Spina (2015). "From sustainability commitment to performance: The role of intra-and inter-firm collaborative capabilities in the upstream supply chain." International Journal of Production Economics **165**: 51-63.
- Malhotra, A., S. Gosain and O. A. E. Sawy (2005). "Absorptive capacity configurations in supply chains: gearing for partner-enabled market knowledge creation." MIS quarterly: 145-187.
- Martí, R. (2003). "Procedimientos metaheurísticos en optimización combinatoria." Matemáticas, Universidad de Valencia **1**(1): 3-62.
- Meyer, M. H. and A. P. Lehnerd (1997). "The power of product platforms: building value and cost leadership. 1997." New York, NY **10020**: 39.
- Meyer, M. H. and J. M. Utterback (1993). "The product family and the dynamics of core capability." Sloan management review **34**(3): 29.
- Mishra, A. A. and R. Shah (2009). "In union lies strength: Collaborative competence in new product development and its performance effects." Journal of Operations Management **27**(4): 324-338.
- Monsalve, S. (2003). "John Nash y la teoría de juegos." Lecturas matemáticas **24**: 137-149.
- Montoya, L. A., L. M. P. de Arias and S. A. F. Henao (2010). "Reciclaje de materiales no ferrosos, en busca de una producción mas limpia." Scientia Et Technica **3**(46): 241-246.
- Montoya-Torres, J. R. and D. O. Vargas (2011). Análisis del concepto de colaboración en la cadena de suministro: Una revisión de la literatura científica. Ninth LACCEI Latin American and Caribbean Conference (LACCEI'2011). Engineering for a Smart Planet, Innovation, Information Technology and Computational Tools for Sustainable Development. Medellin-Colombia.
- Morillo, D., L. Moreno and J. Díaz (2014). "Metodologías analíticas y heurísticas para la Solución del Problema de Programación de Tareas con Recursos Restringidos (RCPSP): una revisión. Parte 1." Ingeniería y Ciencia **10**(19): 247-271.
- Moyaux, T., B. Chaib-Draa and S. D'Amours (2004). Multi-agent simulation of collaborative strategies in a supply chain. Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2004. AAMAS 2004. Proceedings of the Third International Joint Conference on, IEEE.
- Muñoz, A. D. (2007). Metaheurísticas, Librería-Editorial Dykinson.
- Nishioka, Y. (2004). "Collaborative agents for production planning and scheduling (CAPPS): a challenge to develop a new software system architecture for manufacturing management in Japan." International Journal of Production Research **42**(17): 3355-3368.

Oh, J. and S.-K. Rhee (2008). "The influence of supplier capabilities and technology uncertainty on manufacturer-supplier collaboration: a study of the Korean automotive industry." International Journal of Operations & Production Management **28**(6): 490-517.

Pardines Lence, I. (2007). Técnicas paralelas aplicadas a optimización no lineal en sistemas de memoria distribuida, Univ Santiago de Compostela.

Paulraj, A., A. A. Lado and I. J. Chen (2008). "Inter-organizational communication as a relational competency: Antecedents and performance outcomes in collaborative buyer-supplier relationships." Journal of operations management **26**(1): 45-64.

Peleg, B. and P. Sudhölter (2007). Introduction to the theory of cooperative games, Springer Science & Business Media.

Pesämaa, O., P. E. Eriksson and J. F. Hair (2009). "Validating a model of cooperative procurement in the construction industry." International Journal of Project Management **27**(6): 552-559.

Ponte, B., J. Costas, J. Puche, D. de la Fuente and R. Pino (2016). "Holism versus reductionism in supply chain management: An economic analysis." Decision Support Systems **86**: 83-94.

Prakash, A. and S. Deshmukh (2010). "Horizontal collaboration in flexible supply chains: a simulation study." Journal of Studies on Manufacturing **1**(1): 54-58.

Qinghua, Z., F. Tong, W. Yi and G. Qingyang (2015). Research on collaborative supply chain scheduling based on manufacturing cluster. Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2015 IEEE 10th Conference on, IEEE.

Ramanathan, U. (2014). "Performance of supply chain collaboration—A simulation study." Expert Systems with Applications **41**(1): 210-220.

Ramanathan, U. and A. Gunasekaran (2014). "Supply chain collaboration: Impact of success in long-term partnerships." International Journal of Production Economics **147**: 252-259.

Rathore, A. K. and P. V. Ilavarasan (2014). Mobile Adoption in Collaborating Supply Chains: A Study of Indian Auto SMEs. Proceedings of the 2014 International Conference on Information and Communication Technology for Competitive Strategies, ACM.

Reck, R. F. and B. G. Long (1988). "Purchasing: a competitive weapon." Journal of purchasing and materials management **24**(3): 2-8.

Ribas Vila, I. and R. Companys Pascual (2007). "Estado del arte de la planificación colaborativa en la cadena de suministro: Contexto determinista e incierto." Ribas Vila, I.; Companys Pascual, R." Estado del arte de la planificación colaborativa en la cadena de suministro: contexto determinista e incierto". Intangible Capital, julio-agosto de 2007, vol. 3, núm. 3, p. 91-121.

Ribas Vila, I. and R. Companys Pascual (2007). "Estado del arte de la planificación colaborativa en la cadena de suministro: Contexto determinista e incierto." Ribas Vila, I.; Companys Pascual, R." Estado del arte de la planificación colaborativa en la cadena de suministro: contexto determinista e incierto". Intangible Capital, julio-agosto de 2007, vol. 3, núm. 3, p. 91-121.

Salén, H. (1994). Los secretos del merchandising activo o cómo ser el número 1 en el punto de venta, Ediciones Díaz de Santos.

- Sanders, N. R. (2007). "An empirical study of the impact of e-business technologies on organizational collaboration and performance." Journal of Operations Management **25**(6): 1332-1347.
- Satır, B., S. Savaseneril and Y. Serin (2012). "Pooling through lateral transshipments in service parts systems." European journal of operational research **220**(2): 370-377.
- Shapley, L. S. (1953). "A value for n-person games." Contributions to the Theory of Games **2**(28): 307-317.
- Shen, D., K. K. Lai, S. C. Leung and L. Liang (2011). "Modelling and analysis of inventory replenishment for perishable agricultural products with buyer–seller collaboration." International Journal of Systems Science **42**(7): 1207-1217.
- Simatupang, T. M. and R. Sridharan (2002). "The collaborative supply chain." The International Journal of Logistics Management **13**(1): 15-30.
- Simatupang, T. M. and R. Sridharan (2004). "Benchmarking supply chain collaboration: an empirical study." Benchmarking: An International Journal **11**(5): 484-503.
- Simatupang, T. M., A. C. Wright and R. Sridharan (2004). "Applying the theory of constraints to supply chain collaboration." Supply chain Management: an international journal **9**(1): 57-70.
- Simonin, B. L. (1997). "The importance of collaborative know-how: An empirical test of the learning organization." Academy of management Journal **40**(5): 1150-1174.
- Simpson, T. W., Z. Siddique and R. J. Jiao (2006). Product platform and product family design: methods and applications, Springer Science & Business Media.
- Singh, P. J. and D. Power (2009). "The nature and effectiveness of collaboration between firms, their customers and suppliers: a supply chain perspective." Supply Chain Management: An International Journal **14**(3): 189-200.
- Småros, J. (2007). "Forecasting collaboration in the European grocery sector: Observations from a case study." Journal of Operations Management **25**(3): 702-716.
- Spekman, R. E. and R. Carraway (2006). "Making the transition to collaborative buyer–seller relationships: An emerging framework." Industrial Marketing Management **35**(1): 10-19.
- Squire, B., P. D. Cousins, B. Lawson and S. Brown (2009). "The effect of supplier manufacturing capabilities on buyer responsiveness: the role of collaboration." International Journal of Operations & Production Management **29**(8): 766-788.
- Stank, T. P., S. B. Keller and P. J. Daugherty (2001). "Supply chain collaboration and logistical service performance." Journal of Business logistics **22**(1): 29-48.
- Sungbae, K. and M. Taesoo (2016). Supply Chain Integration and Collaboration for Improving Supply Chain Performance: A Dynamic Capability Theory Perspective. 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), IEEE.
- Sutton, S. G., G. Smedley and V. Arnorld (2008). "Accounting for collaborative supply chain relationships: issues and strategies."
- Taha, H. A. (2004). Investigación de operaciones, Pearson Educación.
- Taieb, N. H. and H. Affes (2013). Approaches to improve the performance of the collaborative supply chain management: Literature review. Advanced Logistics and Transport (ICALT), 2013 International Conference on, IEEE.

Tapiero, C. and K. Kogan (2007). "Risk and quality control in a supply chain: competitive and collaborative approaches." Journal of the Operational Research Society **58**(11): 1440-1448.

Thomson, A. M. and J. L. Perry (2006). "Collaboration processes: Inside the black box." Public administration review **66**(s1): 20-32.

Tseng, Y.-J., J.-F. Jhang and F.-Y. Huang (2007). "Multi-plant assembly planning models for a collaborative manufacturing environment." International journal of production research **45**(15): 3333-3349.

Udin, Z. M. and M. K. Khan (2002). A framework for collaborative supply chain: Level 1-planning for redesign. Computer Supported Cooperative Work in Design, 2002. The 7th International Conference on, IEEE.

Vachon, S. and R. D. Klassen (2008). "Environmental management and manufacturing performance: The role of collaboration in the supply chain." International journal of production economics **111**(2): 299-315.

Valtakoski, A. (2015). "Initiation of buyer–seller relationships: The impact of intangibility, trust and mitigation strategies." Industrial Marketing Management **44**: 107-118.

Venkateswaran, J. and Y.-J. Son (2005). Information synchronization effects on the stability of collaborative supply chain. Proceedings of the 37th conference on Winter simulation, Winter Simulation Conference.

Vieira, G. E. and O. C. Júnior (2005). A conceptual model for the creation of supply chain simulation models. Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005., IEEE.

Wang, W., J. Dong, H. Ding, C. Ren and M. Qiu (2009). Quantifying the value of collaboration in supply chain management through business process simulation. Winter Simulation Conference, Winter Simulation Conference.

Wee, S., A. Thoo, Z. Sulaiman and F. Muharam (2016). A Review of Supply Chain Collaboration Practices for Small and Medium-sized Manufacturers. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing.

Wenzhe, X. and S. Qinghua (2010). Research on collaborative supply chain management of automotive manufacturing industry based on value net. The 2nd International Conference on Information Science and Engineering, IEEE.

Whipple, J. M., D. F. Lynch and G. N. Nyaga (2010). "A buyer's perspective on collaborative versus transactional relationships." Industrial Marketing Management **39**(3): 507-518.

Whipple, J. M. and D. Russell (2007). "Building supply chain collaboration: a typology of collaborative approaches." The International Journal of Logistics Management **18**(2): 174-196.

Wiengarten, F., P. Humphreys, G. Cao, B. Fynes and A. McKittrick (2010). "Collaborative supply chain practices and performance: exploring the key role of information quality." Supply Chain Management: An International Journal **15**(6): 463-473.

Xiang, Y., J. Chen and W. S. Havens (2005). Optimal design in collaborative design network. Proceedings of the fourth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems, ACM.

Yang, P.-C. and H.-M. Wee (2006). "A collaborative inventory system with permissible delay in payment for deteriorating items." Mathematical and computer modelling **43**(3): 209-221.

Zhang, D.-z., X.-h. Liu and S.-y. Li (2012). An optimization model for multi-period collaborative inventory control based on target performance management. Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), 2012 IEEE 16th International Conference on, IEEE.

Zhang, Z., H. Qin, W. Zhu and A. Lim (2012). "The single vehicle routing problem with toll-by-weight scheme: A branch-and-bound approach." European Journal of Operational Research **220**(2): 295-304.

Zhili, Z. and H. Wenjun (2009). The Model and Analysis of Benefits Distribution on Collaborative Supply Chain Enterprises. Computer Sciences and Convergence Information Technology, 2009. ICCIT'09. Fourth International Conference on, IEEE.

Zhu, H. (2007). Consumers Risk Control in a Collaborative Supply Chain. 2007 IEEE International Conference on Automation and Logistics, IEEE.

Zice, S., L. Zhengping, Q. Runtao and S. Mansoor (2001). "Agent-based logistics coordination and collaboration." Logistics & Integration Group, Automation Technology Group.